

1 / 1 WPAT - ©Thomson Derwent - image

Accession Nbr :

2003-278626 [27]

Related Acc. Nbrs :

2003-201213

Sec. Acc. CPI :

C2003-072940

Title :

Novel Group VIII metal complexes are useful for hydroformylation, carbonylation, hydrocyanation or hydrogenation

Derwent Classes :

E19 J04

Patent Assignee :

(BADI) BASF AG

Inventor(s) :

AHLERS W; MACKEWITZ T; PACIELLO R; VOLLAND M

Nbr of Patents :

2

Nbr of Countries :

101

Patent Number :

WO200318192 A2 20030306 DW2003-27 B01J-031/18 Ger 85p *

AP: 2002WO-EP09455 20020823

DSNW: AE AG AL AM AT AU AZ BA BB BG BR BY BZ CA CH CN CO
CR CU CZ DE DK DM DZ EC EE ES FI GB GD GE GH GM HR HU ID IL
IN IS JP KE KG KP KR KZ LC LK LR LS LT LU LV MA MD MG MK
MN MW MX MZ NO NZ OM PH PL PT RO RU SD SE SG SI SK SL TJ
TM TN TR TT TZ UA UG US UZ VC VN YU ZA ZM ZW

DSRW: AT BE BG CH CY CZ DE DK EA EE ES FI FR GB GH GM GR IE
IT KE LS LU MC MW MZ NL OA PT SD SE SK SL SZ TR TZ UG ZM
ZW

AU2002324067 A1 20030310 DW2004-52 B01J-031/18

FD: Based on WO200318192

AP: 2002AU-0324067 20020823

Priority Details :

2001DE-1041494 20010824

IPC s :

B01J-031/18 C07C-029/141 C07C-029/16 C07C-045/50 C07C-051/14

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

C07C-253/10 C07F-009/572 C07F-015/00

Abstract :

WO200318192 A

NOVELTY - Novel Group VIII metal complexes are claimed.

DETAILED DESCRIPTION - Catalysts comprising complexes of a Group VIII metal and a ligand of formula (1), excluding compounds of formula (2)-(6);

R1-R4 = H, alkyl, cycloalkyl, heterocycloalkyl, aryl, heteroaryl, WCOORa, WCOO-M⁺, W(SO₃)Ra, W(SO₃)-M⁺, WPO₃(Ra)(Rb), W(PO₃)₂-(M⁺)₂, WNE1E2, W(NE1E2E3)+X⁻, WORa, WSRa, (CHRbCH₂O)_xRa, (CH₂NE1)_xRa, (CH₂CH₂NE1)_xRa, halogen, trifluoromethyl, nitro, acyl or cyano;

W = a single bond, heteroatom or a divalent bridging group having 1-20 atoms;

Ra, E1, E2, E3 = H, alkyl, cycloalkyl or aryl;

Rb = H, methyl or ethyl;

M⁺ = cation equivalent;

X⁻ = anion equivalent;

x = 1-240 whereby two neighboring R1-R4 together with the carbon atom of the pyrrole ring to which they are bonded may form a condensed ring system of 1-3 rings and R1-R4 are not H and R5 and R6 are not linked to each other; R5, R6 = cycloalkyl, heterocycloalkyl, aryl or heteroaryl whereby one of R5 or R6 may be a divalent bridging group Y that covalently bonds two similar or different ligands or formula (1);

a, b = 0 or 1;

RI,RIII,RIV, RV,RVI,RVIII = substituents that are not H;

Rc,Rd,Re,Rf = formula (7)

where for formula (2) a: Rc,Rd,Re,Rf=(1-indolyl) b: Rc,Re=(1-Indolyl);

Rd,Rf=(0-phenyl) c: Rc,Rd,Re,Rf=(1-carbazolyl) d: Rc,Rd,Re,Rf=(3,4,5,6-

tetrahydrocarbazol-1-yl) e: Rc,Rd,Re,Rf=(isoindol-1-yl); for formula (3) a:

Rc,Rd,Re,Rf=(1-indolyl) b: Rc,Re=(1-Indolyl); Rd,Rf= phenyl c: Rc,Re=(1-

Indolyl); Rd,Rf=(1-pyrrolyl) d: Rc,Re=(1-Indolyl); Rd,Rf=(o-(2-isopropyl-5-methyl-phenyl)) e: Rc,Re=(1-Indolyl); Rd,Rf=(o-phenyl) f: Rc,Re=(1-

Indolyl); Rd,Rf=(o-phenyl).

An INDEPENDENT CLAIM is included for the hydroformylation of compounds having at least one ethylenically unsaturated double bond by reaction with CO and H₂ in the presence of a hydroformylation catalyst (I).

USE - The catalyst (I) is useful for hydroformylation, carbonylation, hydrocyanation or hydrogenation (claimed).

ADVANTAGE - The catalyst (I) has improved stability under hydroformylation conditions. (Dwg.0/0)

Manual Codes :

CPI: E05-G E05-L02B E05-M E05-N E10-A15E E10-C04 E10-D01C E10-D03 E10-G02 E10-J02D E11-D E11-F02 E11-F03 J04-E01 J04-E04B N02 N02-B N02-E01 N02-E02 N02-E04 N05-D N07-B N07-D02A N07-D03

THIS PAGE BLANK (USPTO)

N07-D04

Update Basic :

2003-27

Update Basic (Monthly) :

2003-04

Update Equivalents :

2004-52

Update Equivalents (Monthly) :

2004-08

Search statement 6

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT IM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. März 2003 (06.03.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/018192 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B01J 31/18**,
C07F 9/572, 15/00, C07C 29/16, 29/141, 45/50, 253/10,
51/14

(74) Anwalt: **POHL, Michael**; Reitstötter, Kinzebach & Part-
ner (GbR), Ludwigsplatz 4, 67059 Ludwigshafen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/09455

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. August 2002 (23.08.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 41 494.3 24. August 2001 (24.08.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **BASF AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
67056 Ludwigshafen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **AHLERS, Wolfgang**
[DE/DE]; Brauereistrasse 3, 67549 Worms (DE). **PA-
CIELLO, Rocco** [US/DE]; Seebacherstrasse 70, 67098
Bad Dürkheim (DE). **MACKEWITZ, Thomas** [DE/DE];
Schmitzstrasse 8, 68219 Mannheim (DE). **VOLLAND,**
Martin [DE/DE]; Schiffgasse 4, 69117 Heidelberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF 2-PROPYLHEPTANOL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON 2-PROPYLHEPTANOL

(57) Abstract: The invention relates to a method for the production of 2-propylheptanol, comprising the hydroformylation of butene, aldol condensation of the hydroformylation product thus obtained and the catalytic hydrogenation thereof. The invention also relates to novel catalysts for the hydroformylation step and to the use thereof.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol, umfassend die Hydroformylierung von Buten, eine Aldolkondensation der so erhaltenen Hydroformylierungsprodukte und deren katalytische Hydrierung. Die Erfindung betrifft weiterhin neue Katalysatoren für den Hydroformylierungsschritt und deren Verwendung.

WO 03/018192 A2

Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol

Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol, umfassend die Hydroformylierung von Buten, eine Aldolkondensation der so erhaltenen Hydroformylierungsprodukte und deren katalytische Hydrierung. Die Erfindung betrifft
10 weiterhin neue Katalysatoren für den Hydroformylierungsschritt und deren Verwendung.

Zur Modifizierung der thermoplastischen Eigenschaften einer Vielzahl großtechnisch wichtiger Produkte, wie speziell Kunststoffe,
15 aber auch Lacke, Beschichtungsmittel, Dichtungsmassen etc. werden in großen Mengen so genannte Weichmacher eingesetzt. Eine wichtige Klasse von Weichmachern sind die Ester-Weichmacher, zu denen unter anderem Phthalsäureester, Trimellithsäureester, Phosphorsäureester etc. zählen. Die zur Herstellung der Ester-Weichmacher
20 eingesetzten Alkohole werden allgemein als Weichmacheralkohole bezeichnet. Zur Herstellung von Ester-Weichmachern mit guten anwendungstechnischen Eigenschaften besteht ein Bedarf an Weichmacheralkoholen mit etwa 6 bis 12 Kohlenstoffatomen, die zu einem geringen Grad verzweigt sind (so genannte semilinearer Alkohole),
25 und an entsprechenden Gemischen davon. Dazu zählt insbesondere 2-Propylheptanol und es enthaltende Alkoholgemische.

Die DE-A-100 03 482 beschreibt ein integriertes Verfahren zur Herstellung von C₉-Alkoholen und C₁₀-Alkoholen aus Buten und Butan
30 enthaltenden C₄-Kohlenwasserstoffgemischen, bei dem man unter anderem das Kohlenwasserstoffgemisch einer Hydroformylierung unterzieht und die dabei erhaltenen C₅-Aldehyde einer Aldolkondensation und anschließenden katalytischen Hydrierung zu C₁₀-Alkoholen unterzieht.

35

Allgemein kommt es bei der Hydroformylierung von Olefinen mit mehr als 2 C-Atomen aufgrund der möglichen CO-Anlagerung an jedes der beiden C-Atome einer Doppelbindung zur Bildung von Gemischen isomerer Aldehyde. Zusätzlich kann es auch zu einer Doppelbin-
40 dungsisomerisierung kommen, d. h. zu einer Verschiebung interner Doppelbindungen auf eine terminale Position und umgekehrt. Bei der Herstellung von 2-Propylheptanol oder von Alkoholgemischen

45

mit hohem Anteil von 2-Propylheptanol durch Hydroformylierung von Buten und anschließender Aldolkondensation kann es somit bei der Hydroformylierung leicht nicht nur zur Bildung von n-Valeraldehyd, sondern auch von unerwünschten Produktaldehyden kommen, wo-
5 durch das gesamte Verfahren wirtschaftlich benachteiligt wird.

Werden zur Hydroformylierung technische Gemische, beispielsweise C₄-Schnitte eingesetzt, die in großen Mengen sowohl aus FCC-Anlagen als auch aus Steamcrackern zur Verfügung stehen und die im
10 Wesentlichen aus einem Gemisch von 1,3-Butadien, Isobuten, 1-Buten und 2-Buten sowie im Allgemeinen Butan bestehen, so muss der eingesetzte Hydroformylierungskatalysator möglichst selektiv die Hydroformylierung terminaler Olefine (1-Buten) ermöglichen und/oder zu einer Verschiebung interner Doppelbindungen auf eine ter-
15 minale Position befähigt sein. An der Bereitstellung solcher Hydroformylierungskatalysatoren besteht auch allgemein ein großes technisches Interesse. Eine weitere Forderung, die an Hydroformylierungskatalysatoren gestellt wird, ist eine gute Stabilität, sowohl unter den Hydroformylierungsbedingungen als auch bei der
20 Aufarbeitung, da Katalysatorverluste sich in besonderem Maße negativ auf die Wirtschaftlichkeit des entsprechenden Verfahrens auswirken.

L. A. van der Veen et al. beschreiben in Organometallics 1999,
25 18, S. 4765-4777 den Einsatz phosphacyclischer Diphosphine mit Rückgraten vom Xanthen-Typ zur Rhodium-katalysierten Hydroformylierung.

S. C. van der Slot et al. beschreiben in Organometallics 2000,
30 19, S. 2504-2515 Phosphordiamid-Chelatliganden mit Bisphenol- oder Xanthen-Rückgrat, deren Diamid-Einheit durch Biuret-Gruppen gebildet wird.

Die WO 98/42716 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von
35 2,2'-Bisphosphino-1,1'-binaphthylen, deren Phosphoratome neben einer Vielzahl weiterer Reste auch Pyrrolgruppen tragen können.

Die US 3,816,452 beschreibt die Herstellung unterschiedlich substituierter Pyrrolyl-Monophosphane und deren Verwendung als
40 Flammenschutzmittel.

K. G. Moloy et al. beschreiben in J. Am. Chem. Soc. 117,
S. 7696-7710 (1995) unsubstituierte bzw. nicht anellierte ein- und zweikernige Pyrrolylverbindungen und deren Rh- und Mo-Kom-
45 plexe.

D. C. Smith et al. beschreiben in Organometallics 19, S. 1427-1433 (2000) Platinkomplexe des Bis(dipyrrolylphosphino)ethans. Eine konkrete Anwendung dieser Verbindungen und ihrer Metallkomplexe für katalytische Zwecke wird nicht erwähnt.

5

A. M. Trzeciak et al. beschreiben in J. Organomet. Chem. 552, S.159-164 (1998) Trispyrrolylphosphan-Rhodium-Komplexe als Katalysatoren zur Hydrierung von Olefinen und Arenen. Diese Komplexe basieren auf unsubstituierten bzw. nicht anellierten Pyrrolresten.

10

A. M. Trzeciak et al. beschreiben in J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1997, S. 1831-1837 Rhodiumkomplexe mit N-Pyrrolylphosphinen und deren Einsatz als Liganden für Hydroformylierungskatalysatoren.

15

A. M. Trzeciak et al. beschreiben in C. R. Acad. Sci., Série IIC, S. 235-239 (1999) die Hydroformylierung von Vinylsilanen mit Trispyrrolylphosphan-modifizierten Rhodiumkatalysatoren.

20 Die EP-A-0 754 715 beschreibt eine Katalysatorzusammensetzung, umfassend ein Metall der VIII. Nebengruppe und ein Alkylen-verbrücktes Di(pyrrolyl-phenyl-phosphin) und deren Einsatz zur Herstellung von Polyketonen. Katalysatoren auf Basis von phosphorhaltigen Liganden mit substituierten bzw. anellierten Pyrrolresten sind nicht beschrieben.

25

Die WO 00/56451 (DE-A-199 13 352) betrifft am Phosphoratom mit Pyrrolderivaten substituierte, cyclische Oxaphosphorine und die Verwendung dieser Liganden in Katalysatoren zur Hydroformylierung.

30

Die WO-A-96/01831 beschreibt chirale Diphosphine biheterocyclischer Verbindungen von aromatischen, 5-atomigen Heterocyclen und deren Verwendung in chiralen Katalysatoren für stereoselektive Reaktionen. Dabei sind die heterocyclischen Kerne über eine Einfachbindung zwischen zwei Ringkohlenstoffatomen miteinander verknüpft.

35

Die WO-A-99/52915 beschreibt chirale phosphoratomhaltige Liganden auf Basis von bicyclischen Verbindungen von carbocyclischen und heterocyclischen 5- bis 6-atomigen Verbindungen. Dabei sind die den Bicyclus bildenden aromatische Ringe über eine Einfachbindung zwischen zwei Ringkohlenstoffatomen miteinander verknüpft.

40

45 Die WO-A-99/52632 betrifft ein Verfahren zur Hydrocyanierung unter Einsatz phosphorhaltiger Chelatliganden mit 1,1'-Bisphenylen- oder 1,1'-Bisnaphthylenrückrat, in denen das Phosphoratom mit un-

substituierten Pyrrol-, Indol- oder Imidazolgruppen substituiert sein kann, die über ein Ringstickstoffatom an das Phosphoratom gebunden sind.

- 5 J. Shen et al. beschreiben in Organometallics 1998, 17, S. 3000-3005 kalorimetrische Studien an Diphosphin-Chelatliganden, wobei unter anderem Hydrazid-verbrückte Diphenylphosphine und Alkylen-verbrückte Dipyrrolphosphine eingesetzt werden.
- 10 H. Brunner und H. Weber beschreiben in Chem. Ber. 118, S. 3380-3395 (1985) optisch aktive Aminophosphane und deren Einsatz in der enantioselektiven Hydrosilylierung. Diese Liganden werden durch Kondensation von 2-Pyrrolcarbaldehyd bzw. 2-Acetylpyrrol mit 1-Phenylethylamin und gegebenenfalls weiteren Folge-
- 15 reaktionen hergestellt und können Pyrrolstickstoff-phosphonierte Gruppen aufweisen.

- Die WO 01/58589 beschreibt Verbindungen des Phosphors, Arsens und des Antimons, basierend auf Diaryl-anellierten Bi-
- 20 cyclo[2.2.2]-Grundkörpern und Katalysatoren, die diese als Liganden enthalten. Dabei können an das Atom der 5. Hauptgruppe prinzipiell auch Hetarylreste gebunden sein.

- Die DE-A-100 23 471 beschreibt ein Verfahren zur Hydroformylierung unter Einsatz eines Hydroformylierungskatalysators, der wenigstens einen Phosphinliganden umfasst, der zwei Triarylphosphingruppen aufweist, wobei jeweils ein Arylrest der beiden Triarylphosphingruppen über eine Einfachbindung an eine nichtaromatische 5- bis 8-gliedrige carbocyclische oder heterocyclische
- 25 verbrückende Gruppe gebunden ist. Dabei können die Phosphoratome als weitere Substituenten unter anderem auch Hetarylgruppen aufweisen.
- 30

- Die DE-A-100 46 026.7 beschreibt ein Hydroformylierungsverfahren, bei dem man als Katalysator einen Komplex auf Basis einer Phosphor-, Arsen- oder Antimon-haltigen Verbindung als Liganden ein-
- 35 setzt, wobei diese Verbindung jeweils zwei ein P-, As- oder Sb-Atom und wenigstens zwei weitere Heteroatome aufweisende Gruppen gebunden an ein Xanthen-artiges Molekülgerüst aufweist.

- 40 R. Jackstell et al. beschreiben in Eur. J. Org. Chem. 2001, S. 3871-3877 (veröffentlicht am 10.09.2001) die Synthese von Pyrrol-, Indol- und Carbazolphosphanen und deren Einsatz als einzählige Liganden bei der Hydroformylierung von 2-Penten.

Die US 5,710,344 beschreibt phosphoratomhaltige Liganden mit 1,1'-Biphenylen- oder 1,1'-Binaphthylenrückgrat, die mit unsubstituierten Pyrrol-, Imidazol- oder Indolgruppen substituiert sein können, die über ein Ringstickstoffatom an das Phosphoratom gebunden sind. Diese Liganden eignen sich für Hydroformylierungskatalysatoren auf Basis von Metallen der VIII. Nebengruppe.

Die JP-A-2002 047294 beschreibt Phosphorchelatverbindungen mit Rückgraten vom Biphenylen-Typ, bei denen an die Phosphoratome zu dem jeweils zwei Stickstoff-Heterocyclen gebunden sind. Sie eignen sich als Liganden für Hydroformylierungskatalysatoren. Dabei werden als Stickstoffheterocyclen sowohl unsubstituierte als auch substituierte und in anellierte Ringsysteme integrierte Pyrrolgruppen eingesetzt. Eine Bevorzugung von substituierten sowie von in ein anelliertes Ringsystem integrierten und insbesondere zusätzlich substituierten Pyrrolgruppen ist diesem Dokument nicht zu entnehmen. Der Einsatz von Liganden vom Biphenylen-Typ, bei denen an die Phosphoratome wenigstens ein 3-Alky lindol-1-ylrest gebunden ist, wird in diesem Dokument nicht beschrieben.

Die unveröffentlichte internationale Anmeldung PCT/EP02/03543 beschreibt Pnicogenchelateverbindungen (d. h. Verbindungen des P, As oder Sb), die eine über das Stickstoffatom an das Pnicogenatom gebundene Pyrrolgruppe aufweisen. Sie eignen sich für den Einsatz in Hydroformylierungskatalysatoren.

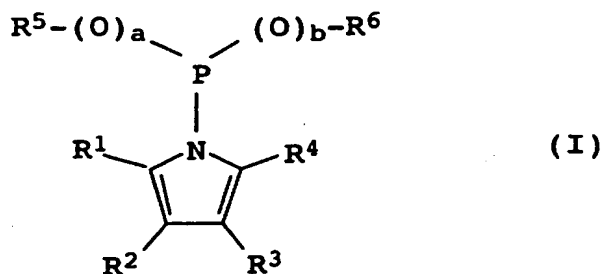
Die unveröffentlichte deutsche Patentanmeldung P 102 05 361.8 beschreibt Phosphorchelatverbindungen, bei denen an beide Phosphoratome jeweils drei Stickstoffatome kovalent gebunden sind, welche selbst Teil eines aromatischen Ringsystems sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol zur Verfügung zu stellen. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zu Grunde, neue Liganden zur Verfügung zu stellen, die sich bei einem Einsatz in Hydroformylierungskatalysatoren durch eine besonders hohe Stabilität unter den Hydroformylierungsbedingungen und/oder bei der Aufarbeitung auszeichnen.

Überraschenderweise wurde jetzt gefunden, dass die erste Aufgabe durch ein Verfahren gelöst wird, das die Hydroformylierung von Buten, eine Aldolkondensation der so erhaltenen Hydroformylierungsprodukte und deren anschließende katalytische Hydrierung umfasst, wobei als Hydroformylierungskatalysator ein Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe des Periodensystems mit wenigstens einer Pyrrol-Phosphor-Verbindung als Liganden eingesetzt wird.

Dementsprechend wurde ein Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol gefunden, bei dem man

- a) Buten oder ein Buten enthaltendes C₄-Kohlenwasserstoffgemisch in Gegenwart eines Hydroformylierungskatalysators mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff unter Erhalt eines n-Valeraldehyd enthaltenden Hydroformylierungsprodukts hydroformyliert, wobei der Hydroformylierungskatalysator wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe mit wenigstens einem Liganden der allgemeinen Formel I



umfasst, worin

R¹, R², R³ und R⁴ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl, Hetaryl, WCOOR^a, WCOO-M⁺, W(SO₃)R^a, W(SO₃)-M⁺, WPO₃(R^a)(R^b), W(PO₃)²⁻(M⁺)₂, WNE¹E², W(NE¹E²E³)+X⁻, WOR^a, WSR^a, (CHR^bCH₂O)_xR^a, (CH₂NE¹)_xR^a, (CH₂CH₂NE¹)_xR^a, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Acyl oder Cyano stehen,

worin

W für eine Einfachbindung, ein Heteroatom oder eine zweiwertige verbrückende Gruppe mit 1 bis 20 Brückenatomen steht,

R^a, E¹, E², E³ jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl bedeuten,

R^b für Wasserstoff, Methyl oder Ethyl steht,

M⁺ für ein Kationäquivalent steht,

X⁻ für ein Anionäquivalent steht und

x für eine ganze Zahl von 1 bis 240 steht,

5 wobei jeweils zwei benachbarte Reste R^1 , R^2 , R^3 und R^4 zusammen mit den Kohlenstoffatomen des Pyrrolrings, an die sie gebunden sind, auch für ein kondensiertes Ringsystem mit 1, 2 oder 3 weiteren Ringen stehen können,

10 mit der Maßgabe, dass wenigstens einer der Reste R^1 , R^2 , R^3 oder R^4 nicht für Wasserstoff steht, und dass R^5 und R^6 nicht mit einander verknüpft sind,

15 R^5 und R^6 unabhängig voneinander für Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, wobei einer der Reste R^5 oder R^6 auch für eine zweiwertige verbrückende Gruppe Y stehen kann, die zwei gleiche oder verschiedene Liganden oder Formel I kovalent miteinander verbindet, und

a und b unabhängig voneinander die Zahl 0 oder 1 bedeuten,

20 b) gegebenenfalls das Hydroformylierungsprodukt einer Auftrennung unter Erhalt einer an n-Valeraldehyd angereicherten Fraktion unterzieht,

25 c) das in Schritt a) erhaltene Hydroformylierungsprodukt oder die in Schritt b) erhaltene an n-Valeraldehyd angereicherte Fraktion einer Aldolkondensation unterzieht,

d) die Produkte der Aldolkondensation mit Wasserstoff katalytisch zu Alkoholen hydriert, und

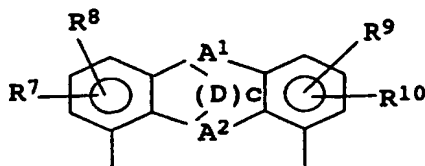
30 e) gegebenenfalls die Hydrierprodukte einer Auftrennung unter Erhalt einer an 2-Propylheptanol angereicherten Fraktion unterzieht.

35 Die Erfinder haben weiterhin gefunden, dass Pyrrolphosphorverbindungen, bei denen eine oder mehrere unsubstituierte Pyrrolgruppen über ihr Stickstoffatom an das Phosphoratom gebunden sind, leicht zur Zersetzung bzw. zur Ausbildung von unerwünschten Umsetzungsprodukten neigen. So wird eine merkliche Zersetzung bereits von
40 sichtbarem Licht und/oder Temperaturen im Bereich der Raumtemperatur induziert und kann durch den Einsatz eines Schutzgases nicht verhindert werden. Speziell in Gegenwart von Aldehyden kommt es zu einer merklichen Bildung von polymeren Verunreinigungen. Beim Einsatz von Pyrrolphosphorverbindungen mit unsubstituierten Pyrrolgruppen als Liganden für Hydroformylierungskatalysatoren kommt es somit zu einem Verlust an Katalysator und Wertprodukt, der sich insbesondere bei mehrstufigen Verfahren, die
45

einen solchen Hydroformylierungsschritt umfassen, negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Überraschenderweise wurde nun gefunden, dass beim Einsatz von Phosphorverbindungen, bei denen eine substituierte und/oder in ein anelliertes Ringsystem integrierte
 5 Pyrrolgruppe über ihr pyrrolisches Stickstoffatom kovalent mit dem Phosphoratom verknüpft ist, die Bildung unerwünschter Produkte im Wesentlichen unterbleibt.

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung steht die verbrückende
 10 Gruppe Y nicht für eine Gruppe der Formel

15



worin

20

R⁷, R⁸, R⁹ und R¹⁰ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, SO₃H, Sulfonat, NE⁴E⁵, Alkyl-NE⁴E⁵, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl, Carboxyl oder Cyano stehen, worin E⁴ und E⁵ jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl und Aryl bedeuten,

25

A¹ und A² unabhängig voneinander für O, S, SiR¹⁵R¹⁶, NR¹⁵ oder CR¹⁷R¹⁸ stehen, wobei

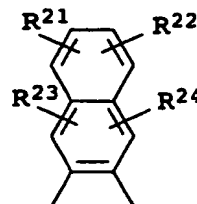
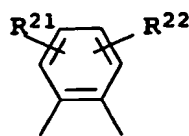
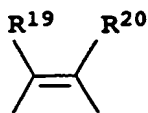
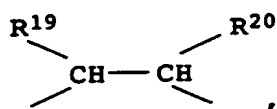
30

R¹⁷ und R¹⁸ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen oder die Gruppe R¹⁷ gemeinsam mit einer weiteren Gruppe R¹⁷ oder die Gruppe R¹⁸ gemeinsam mit einer weiteren Gruppe R¹⁸ eine intramolekulare Brückengruppe D bilden,

35

D eine zweibindige Brückengruppe, ausgewählt aus den Gruppen

40



45

ist, in denen

R¹⁹ und R²⁰ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Halogen, Trifluormethyl, Carboxyl, Carboxylat oder Cyano stehen oder miteinander zu einer C₃- bis C₄-Alkylenbrücke verbunden sind,

5

R²¹, R²², R²³ und R²⁴ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Halogen, Trifluormethyl, COOH, Carboxylat, Cyano, Alkoxy, SO₃H, Sulfonat, NE⁴E⁵, Alkylen-NE⁴E⁵E⁶+X⁻, Acyl oder Nitro stehen, wobei X⁻ für ein Anionäquivalent steht, und

10

c 0 oder 1 ist.

Derartige Verbindungen sind Gegenstand der internationalen Anmeldung PCT/EP02/03543.

15

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Ausdruck Alkyl geradkettige und verzweigte Alkylgruppen. Vorzugsweise handelt es sich dabei um geradkettige oder verzweigte C₁-C₂₀-Alkyl-, bevorzugterweise C₁-C₁₂-Alkyl- und besonders bevorzugt C₁-C₈-Alkyl- und ganz besonders bevorzugt C₁-C₄-Alkylgruppen. Beispiele für Alkylgruppen sind insbesondere Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, n-Butyl, 2-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, 2-Pentyl, 2-Methylbutyl, 3-Methylbutyl, 1,2-Dimethylpropyl, 1,1-Dimethylpropyl, 2,2-Dimethylpropyl, 1-Ethylpropyl, n-Hexyl, 2-Hexyl, 2-Methylpentyl, 3-Methylpentyl, 4-Methylpentyl, 1,2-Dimethylbutyl, 1,3-Dimethylbutyl, 2,3-Dimethylbutyl, 1,1-Dimethylbutyl, 2,2-Dimethylbutyl, 3,3-Dimethylbutyl, 1,1,2-Trimethylpropyl, 1,2,2-Trimethylpropyl, 1-Ethylbutyl, 2-Ethylbutyl, 1-Ethyl-2-methylpropyl, n-Heptyl, 2-Heptyl, 3-Heptyl, 2-Ethylpentyl, 1-Propylbutyl, Octyl, Nonyl, Decyl.

25

30

Der Ausdruck Alkyl umfasst auch substituierte Alkylgruppen. Substituierte Alkylreste weisen vorzugsweise 1, 2, 3, 4 oder 5, insbesondere 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Cycloalkyl, Aryl, Hetaryl, Halogen, NE¹E², (NE¹E²E³)⁺, Carboxyl, Carboxylat, -SO₃H und Sulfonat auf.

35

Der Ausdruck Cycloalkyl umfasst unsubstituierte und substituierte Cycloalkylgruppen. Bei der Cycloalkylgruppe handelt es sich vorzugsweise um eine C₅-C₇-Cycloalkylgruppe, wie Cyclopentyl, Cyclohexyl oder Cycloheptyl.

40

Wenn die Cycloalkylgruppe substituiert ist, weist sie vorzugsweise 1, 2, 3, 4 oder 5, insbesondere 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy oder Halogen auf.

45

Der Ausdruck Heterocycloalkyl im Sinne der vorliegenden Erfindung umfaßt gesättigte, cycloaliphatische Gruppen mit im Allgemeinen 4 bis 7, vorzugsweise 5 oder 6 Ringatomen, in denen 1 oder 2 der Ringkohlenstoffatome durch Heteroatome, ausgewählt aus den Elementen Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel, ersetzt sind und die gegebenenfalls substituiert sein können, wobei im Falle einer Substitution, diese heterocycloaliphatischen Gruppen 1, 2 oder 3, vorzugsweise 1 oder 2, besonders bevorzugt 1 Substituenten, ausgewählt aus Alkyl, Aryl, COOR^a, COO-M⁺ und NE¹E², bevorzugt Alkyl, tragen können. Beispielfür solche heterocycloaliphatischen Gruppen seien Pyrrolidinyl, Piperidinyl, 2,2,6,6-Tetramethyl-piperidinyl, Imidazolidinyl, Pyrazolidinyl, Oxazolidinyl, Morpholidinyl, Thiazolidinyl, Isothiazolidinyl, Isoxazolidinyl, Piperazinyl-, Tetrahydrothiophenyl, Tetrahydrofuranlyl, Tetrahydropyranlyl, Dioxanylyl genannt.

Aryl steht vorzugsweise für Phenyl, Tolylyl, Xylylyl, Mesitylyl, Naphthyl, Anthracenyl, Phenanthrenyl, Naphthacenyl und insbesondere für Phenyl oder Naphthyl.

Substituierte Arylreste weisen vorzugsweise 1, 2, 3, 4 oder 5, insbesondere 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Carboxyl, Carboxylat, Trifluormethyl, -SO₃H, Sulfonat, NE¹E², Alkylen-NE¹E², Nitro, Cyano oder Halogen auf.

Hetaryl steht vorzugsweise für Pyrrolyl, Pyrazolylyl, Imidazolylyl, Indolylyl, Carbazolylyl, Pyridyl, Chinolinyl, Acridinyl, Pyridazinyl, Pyrimidinyl oder Pyrazinyl.

Substituierte Hetarylreste weisen vorzugsweise 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Carboxyl, Carboxylat, -SO₃H, Sulfonat, NE¹E², Alkylen-NE¹E², Trifluormethyl oder Halogen auf.

Die obigen Ausführungen zu Alkyl-, Cycloalkyl- und Arylresten gelten entsprechend für Alkoxy-, Cycloalkyloxy- und Aryloxyreste.

Die Reste NE¹E² und NE⁴E⁵ stehen vorzugsweise für N,N-Dimethylamino, N,N-Diethylamino, N,N-Dipropylamino, N,N-Diisopropylamino, N,N-Di-n-butylamino, N,N-Di-tert.-butylamino, N,N-Dicyclohexylamino oder N,N-Diphenylamino.

Halogen steht für Fluor, Chlor, Brom und Iod, bevorzugt für Fluor, Chlor und Brom.

Carboxylat und Sulfonat stehen im Rahmen dieser Erfindung vorzugsweise für ein Derivat einer Carbonsäurefunktion bzw. einer Sulfonsäurefunktion, insbesondere für ein Metallcarboxylat oder -sulfonat, eine Carbonsäure- oder Sulfonsäureesterfunktion oder
5 eine Carbonsäure- oder Sulfonsäureamidfunktion. Dazu zählen z. B. die Ester mit C₁-C₄-Alkanolen, wie Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol, sec.-Butanol und tert.-Butanol.

M⁺ steht für ein Kationäquivalent, d. h. für ein einwertiges Kation oder den einer positiven Einfachladung entsprechenden Anteil
10 eines mehrwertigen Kations. Vorzugsweise steht M⁺ für ein Alkalimetallkation, wie z. B. Li⁺, Na⁺ oder K⁺ oder für ein Erdalkalimetallkation, für NH₄⁺ oder eine quartäre Ammonium-Verbindung, wie sie durch Protonierung oder Quarternierung von Aminen erhältlich
15 ist. Bevorzugt handelt es sich um Alkalimetallkationen, insbesondere um Natrium- oder Kaliumionen.

X⁻ steht für ein Anionäquivalent, d. h. für ein einwertiges Anion oder den einer negativen Einfachladung entsprechenden Anteil
20 eines mehrwertigen Anions. Vorzugsweise steht X⁻ für ein Carbonat, Carboxylat oder Halogenid, besonders bevorzugt für Cl⁻ und Br⁻.

Die Werte für x stehen für eine ganze Zahl von 1 bis 240, vorzugsweise für eine ganze Zahl von 3 bis 120.

25 Kondensierte Ringsysteme können durch Anellierung verknüpfte (an-kondensierte) aromatische, hydroaromatische und cyclische Verbindungen sein. Kondensierte Ringsysteme bestehen aus zwei, drei oder mehr als drei Ringen. Je nach der Verknüpfungsart unter-
30 scheidet man bei kondensierten Ringsystemen zwischen einer ortho-Anellierung, d. h. jeder Ring hat mit jedem Nachbarring jeweils eine Kante, bzw. zwei Atome gemeinsam, und einer peri-Anellierung, bei der ein Kohlenstoffatom mehr als zwei Ringen angehört. Bevorzugt unter den kondensierten Ringsystemen sind ortho-konden-
35 sierte Ringsysteme.

a) Hydroformylierung

Als Einsatzmaterial für die Hydroformylierung eignet sich sowohl
40 im Wesentlichen reines 1-Buten als auch Gemische von 1-Buten mit 2-Buten und technisch erhältliche C₄-Kohlenwasserstoffströme, die 1-Buten und/oder 2 Buten enthalten. Vorzugsweise eignen sich C₄-Schnitte, die in großen Mengen aus FCC-Anlagen und aus Steam-crackern zur Verfügung stehen. Diese bestehen im Wesentlichen aus
45 einem Gemisch von 1,3-Butadien, der isomeren Butene und Butan.

Als Einsatzmaterial geeignete C₄-Kohlenwasserstoffströme enthalten z. B. 50 bis 99, vorzugsweise 60 bis 90 Mol-% Butene und 1 bis 50, vorzugsweise 10 bis 40 Mol-% Butane. Vorzugsweise umfasst die Butenfraktion 40 bis 60 Mol-% 1-Buten, 20 bis 30 Mol-% 2-Buten und weniger als 5 Mol-%, insbesondere weniger als 3 Mol-% Isobuten (bezogen auf die Butenfraktion). Als besonders bevorzugter Einsatzstoff wird das sogenannte Raffinat II verwendet, bei dem es sich um ein Isobuten-abgereicherten C₄-Schnitt aus einer FCC-Anlage oder einen Steamcracker handelt.

10

Hydroformylierungskatalysatoren auf Basis der erfindungsgemäß eingesetzten Phosphorpyrrolverbindungen als Liganden weisen vorteilhafterweise eine hohe n-Selektivität, auch beim Einsatz von 2-Buten und 2-butenhaltigen Kohlenwasserstoffgemischen als Einsatzmaterial auf. Somit können in dem erfindungsgemäßen Verfahren auch solche Einsatzstoffe wirtschaftlich eingesetzt werden, da der angestrebte n-Valeraldehyd in guten Ausbeuten resultiert.

Bevorzugt wird in Schritt a) des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Verbindung der allgemeinen Formel I eingesetzt, worin einer oder zwei der Reste R¹, R², R³ und R⁴ für einen der zuvor genannten, von Wasserstoff verschiedenen Substituenten stehen und die übrigen für Wasserstoff stehen. Bevorzugt sind Verbindungen der Formel I, die in 2-Position, 2,5-Position oder 3,4-Position einen von Wasserstoff verschiedenen Substituenten tragen.

Vorzugsweise sind die von Wasserstoff verschiedenen Substituenten R¹ bis R⁴ unabhängig voneinander ausgewählt unter C₁- bis C₈-, vorzugsweise C₁- bis C₄-Alkyl, speziell Methyl, Ethyl, Isopropyl und tert.-Butyl, Alkoxycarbonyl, wie Methoxycarbonyl, Ethoxycarbonyl, Isopropoxyloxycarbonyl und tert.-Butyloxycarbonyl sowie Trifluormethyl.

Bevorzugt wird in Schritt a) des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Verbindung der allgemeinen Formel I eingesetzt, worin die Reste R¹ und R² und/oder R³ und R⁴ zusammen mit den Kohlenstoffatomen des Pyrrolrings, an die sie gebunden sind, für ein kondensiertes Ringsystem mit 1, 2 oder 3 weiteren Ringen stehen. Wenn R¹ und R² und/oder R³ und R⁴ für ein ankondensiertes, also anelliertes Ringsystem stehen, so handelt es sich bevorzugt um Benzol- oder Naphthalinringe. Anellierte Benzolringe sind vorzugsweise unsubstituiert und weisen 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 Substituenten auf, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, SO₃H, Sulfonat, NE¹E², Alkylen-NE¹E², Trifluormethyl, Nitro, COOR^a, Alkoxycarbonyl, Acyl und Cyano. Anellierte Naphthalinringe sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen im nichtanellierten Ring und/oder im anellierten Ring je 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder

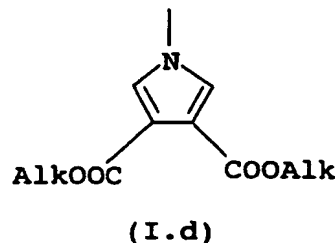
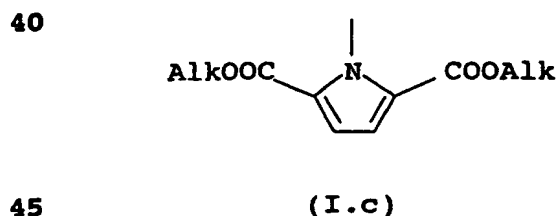
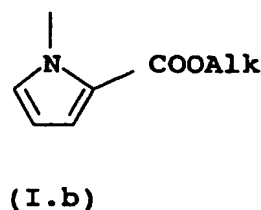
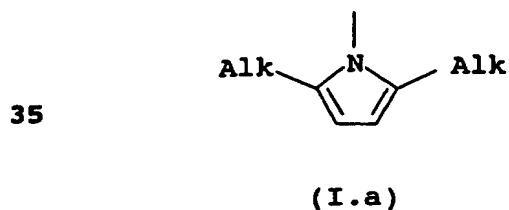
2 der zuvor bei den anellierten Benzolringen genannten Substituenten auf. Wenn R^1 und R^2 für ein ankondensiertes Ringsystem stehen, so stehen R^3 und R^4 vorzugsweise für Wasserstoff oder steht R^4 für Wasserstoff und R^3 für einen Substituenten, der ausgewählt ist unter C_1 - bis C_8 -Alkyl, vorzugsweise C_1 - bis C_4 -Alkyl, speziell Methyl, Ethyl, Isopropyl oder tert.-Butyl.

Ist der Einsatz der Verbindungen der Formel I in einem wässrigen Hydroformylierungsmedium vorgesehen, steht wenigstens einer der
 10 Reste R^1 , R^2 , R^3 und/oder R^4 für eine polare (hydrophile) Gruppe, wobei dann in der Regel bei der Komplexbildung mit einem Gruppe VIII Metall wasserlösliche Komplexe resultieren. Bevorzugt sind die polaren Gruppen ausgewählt unter $COOR^a$, $COO-M^+$, SO_3R^a , SO_3-M^+ , NE^1E^2 , Alkylen- NE^1E^2 , $NE^1E^2E^3+X^-$, Alkylen- $NE^1E^2E^3+X^-$, OR^a , SR^a ,
 15 $(CHR^bCH_2O)_xR^a$ oder $(CH_2CH_2N(E^1))_xR^a$, worin R^a , E^1 , E^2 , E^3 , R^b , M^+ , X^- und x die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen.

Bevorzugt wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Hydroformylierungskatalysator eingesetzt, der wenigstens einen Liganden der
 20 Formel I umfasst, in dem die über das pyrrolische Stickstoffatom an das Phosphoratom gebundene Pyrrolgruppe der Formel

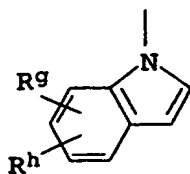


30 ausgewählt ist unter Gruppen der Formeln I.a bis I.k

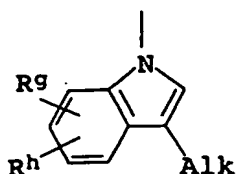


14

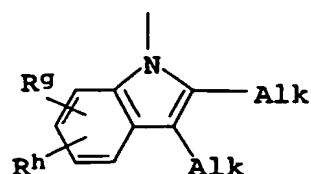
5



(I.e)

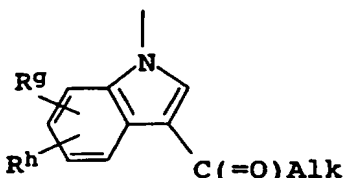


(I.f)

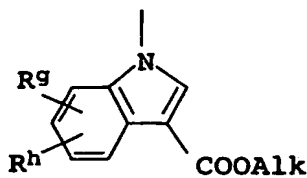


(I.g)

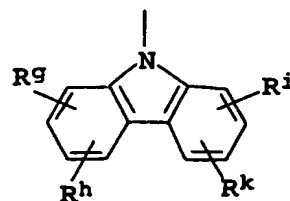
10



(I.h)



(I.i)



(I.k)

20

worin

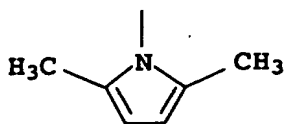
Alk eine C₁-C₄-Alkylgruppe ist und

25 R₉, R_h, R_i und R_k unabhängig voneinander für Wasserstoff, C₁-C₄-Alkyl, C₁-C₄-Alkoxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, C₁-C₄-Alkoxycarbonyl oder Carboxyl stehen.

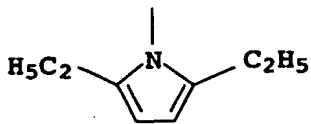
Zur Veranschaulichung werden im Folgenden einige vorteilhafte

30 Pyrrolgruppen aufgelistet:

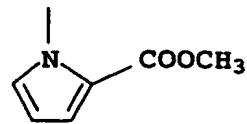
35



(I.a1)

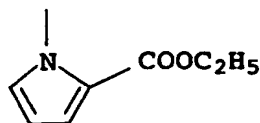


(I.a2)

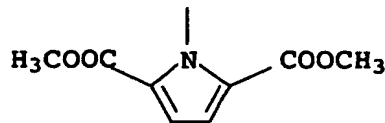


(I.b1)

40

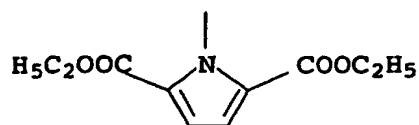


(I.b2)



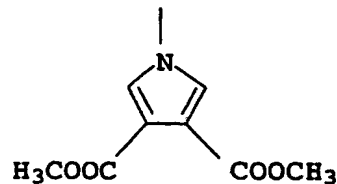
(I.c1)

45

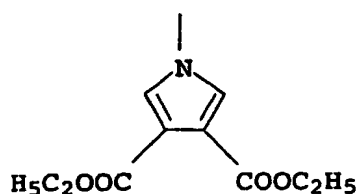


5

(I.c2)

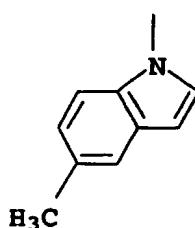


(I.d1)

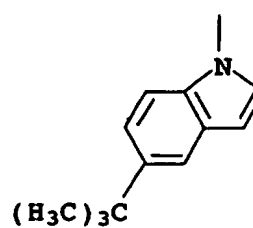


10

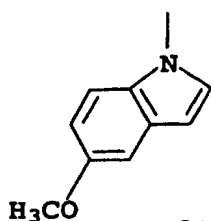
(I.d2)



(I.e1)

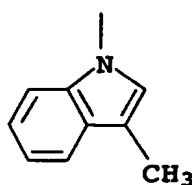


(I.e2)

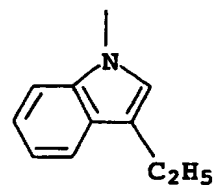


20

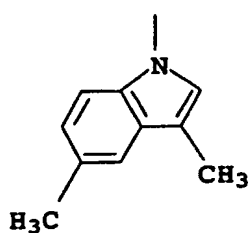
(I.e3)



(I.f1)

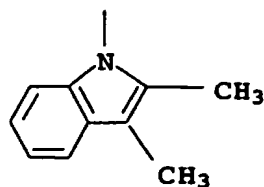


(I.f2)

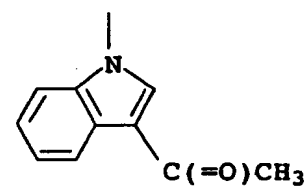


25

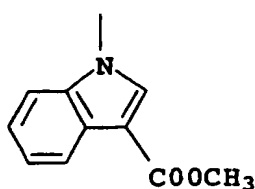
(I.f3)



(I.g1)

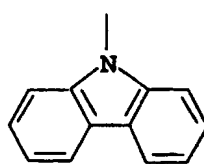


(I.h1)

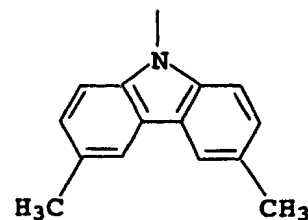


35

(I.i1)



(I.k1)



(I.k2)

40

Besonders vorteilhaft ist die 3-Methylindolylgruppe (Skatolyl-
 45 gruppe) der Formel I.f1. Hydroformylierungskatalysatoren auf Ba-
 sis von Liganden, die eine oder mehrere 3-Methylindolylgruppe(n)
 an das Phosphoratom gebunden aufweisen, zeichnen sich durch eine

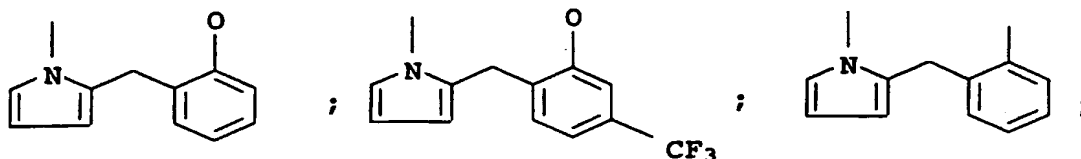
besonders hohe Stabilität und somit besonders lange Katalysatorstandzeiten aus.

In einer geeigneten Ausführungsform kann der Substituent R^1 gemeinsam mit dem Substituenten R^5 oder kann der Substituent R^2 gemeinsam mit dem Substituenten R^5 für eine zweibindige Gruppe -I-W- stehen, worin

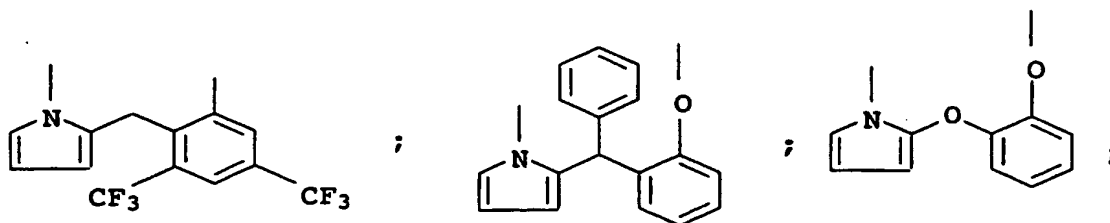
- I für eine chemische Bindung oder für O, S, SiR^aR^b , NR^y oder gegebenenfalls substituiertes C_1 - C_{10} -Alkylen, bevorzugt CR^dR^e steht, worin R^a , R^b , R^y , R^d und R^e unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, und
- 15 W für Cycloalkyl, Cycloalkoxy, Aryl, Aryloxy, Hetaryl oder Hetaryloxy steht.

Beispielsweise kann die Pyrrolgruppe gemeinsam mit der Gruppe -I-W- für

20

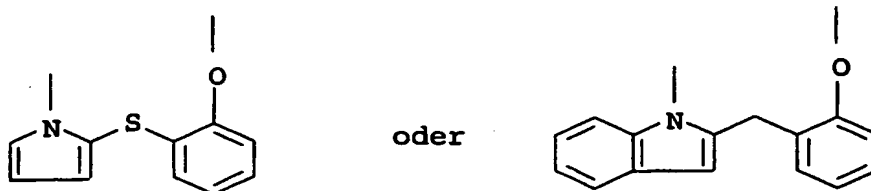


25



30

35

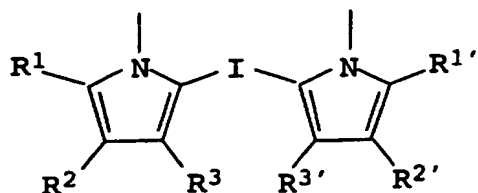


40 stehen.

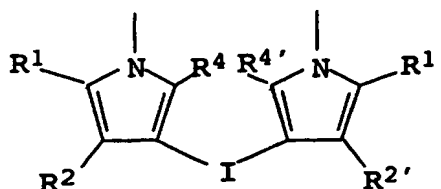
Bevorzugt werden in dem erfindungsgemäßen Verfahren Hydroformylierungskatalysatoren eingesetzt, die wenigstens einen Liganden der Formel I umfassen, worin die über das pyrrolische Stickstoffatom an das Phosphoratom gebundene Pyrrolgruppe gemeinsam mit R^5 eine Gruppe der Formel

45

5



oder



bildet, worin

10 I für eine chemische Bindung oder für O, S, $\text{SiR}^\alpha\text{R}^\beta$, NR^γ oder gegebenenfalls substituiertes C_1 - C_{10} -Alkyl, bevorzugt $\text{CR}^\delta\text{R}^\epsilon$, steht, worin R^α , R^β , R^γ , R^δ und R^ϵ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen,

15

R^1 , $\text{R}^{1'}$, R^2 , $\text{R}^{2'}$, R^3 , $\text{R}^{3'}$, R^4 und $\text{R}^{4'}$ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl, Hetaryl, WCOOR^a , WCOO-M^+ , $\text{W(SO}_3\text{)R}^a$, $\text{W(SO}_3\text{)-M}^+$, $\text{WPO}_3(\text{R}^a)(\text{R}^b)$, $\text{W(PO}_3\text{)}^{2-}(\text{M}^+)_2$, WNE^1E^2 , $\text{W(NE}^1\text{E}^2\text{E}^3\text{)}^+\text{X}^-$, WOR^a , WSR^a , $(\text{CHR}^b\text{CH}_2\text{O})_x\text{R}^a$, $(\text{CH}_2\text{NE}^1)_x\text{R}^a$, $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NE}^1)_x\text{R}^a$, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Acyl oder Cyano stehen,

20

worin

25 W für eine Einfachbindung, ein Heteroatom oder eine zweiwertige verbrückende Gruppe mit 1 bis 20 Brückenatomen steht,

30

R^a , E^1 , E^2 , E^3 jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl bedeuten,

R^b für Wasserstoff, Methyl oder Ethyl steht,

35

M^+ für ein Kationäquivalent steht,

X^- für ein Anionäquivalent steht und

x für eine ganze Zahl von 1 bis 240 steht,

40

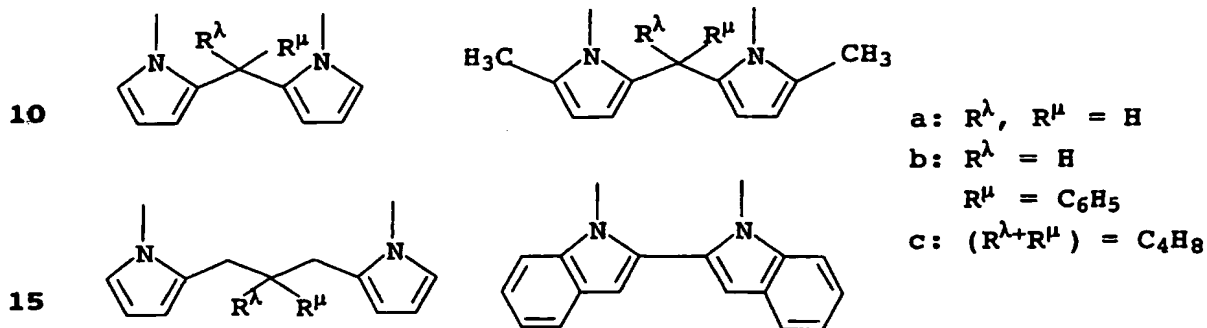
wobei jeweils zwei benachbarte Reste R^1 und R^2 und/oder $\text{R}^{1'}$ und $\text{R}^{2'}$ zusammen mit den Kohlenstoffatomen des Pyrrolrings, an die sie gebunden sind, auch für ein kondensiertes Ringsystem mit 1, 2 oder 3 weiteren Ringen stehen können.

45

18

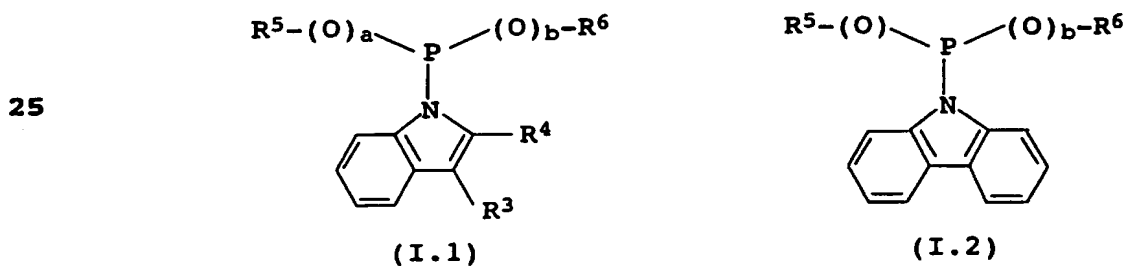
Vorzugsweise steht I für eine chemische Bindung oder eine C₁-C₄-Alkylengruppe, besonders bevorzugt eine Methylengruppe.

Zur Veranschaulichung werden im Folgenden einige vorteilhafte 5 "Bispyrrolylgruppen" aufgelistet:

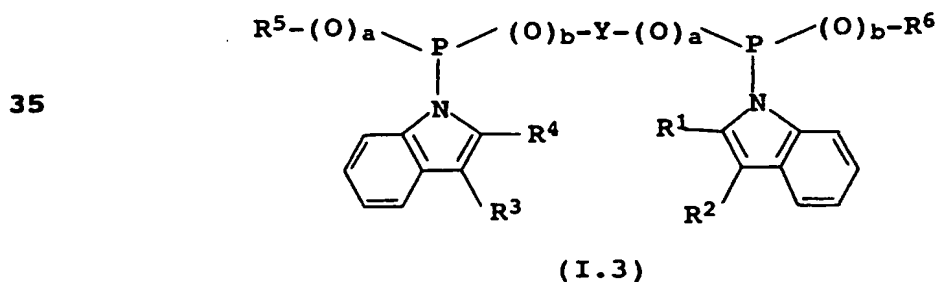


Vorzugsweise ist die Verbindung der allgemeinen Formel I ausgewählt unter Verbindungen der allgemeinen Formeln I.1 bis I.4

20

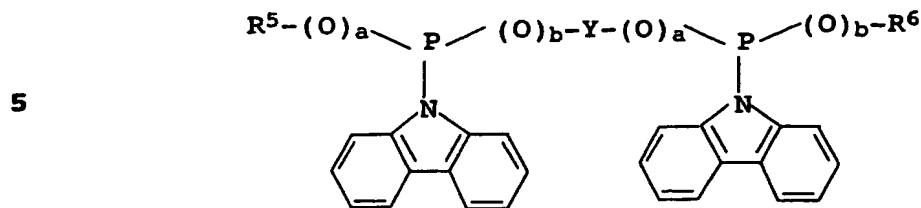


30



40

45



10

worin

R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , Y, a und b die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen und

15

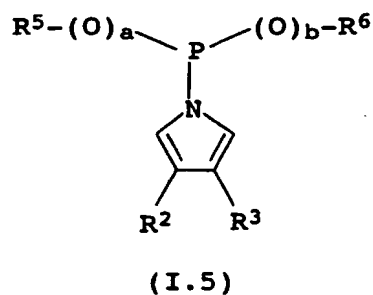
R^5 und R^6 unabhängig voneinander für Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen.

Vorzugsweise stehen in den Formeln I.1 und I.3 die Reste R^1 bis R^4 (falls vorhanden) alle für Wasserstoff. Des Weiteren vorzugsweise stehen R^1 und R^4 für Wasserstoff und sind R^2 und R^3 ausgewählt unter C_1 - bis C_8 -Alkyl, vorzugsweise C_1 - bis C_4 -Alkyl, wie Methyl, Ethyl, Isopropyl und tert.-Butyl. Des Weiteren vorzugsweise sind R^1 , R^2 , R^3 und R^4 unabhängig voneinander ausgewählt unter C_1 - C_8 -Alkyl, vorzugsweise C_1 - C_4 -Alkyl, wie Methyl, Ethyl, Isopropyl und tert.-Butyl.

30

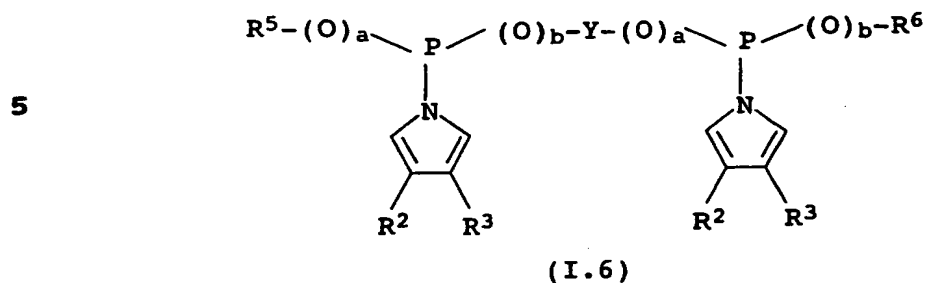
Vorzugsweise ist die Verbindung der allgemeinen Formel I ausgewählt unter Verbindungen der allgemeinen Formeln I.5 oder I.6

35



40

45



worin

15 R^2 und R^3 die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen, wobei wenigstens einer der Reste R^2 oder R^3 nicht für Wasserstoff steht,

R^5 und R^6 unabhängig voneinander für Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen.

20

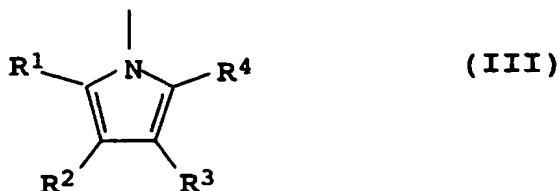
Vorzugsweise sind in den Formeln I.5 und I.6 die Reste R^2 und R^3 ausgewählt unter C_1 - C_8 -Alkyl, besonders bevorzugt C_1 - C_4 -Alkyl, wie Methyl, Ethyl, Isopropyl und tert.-Butyl, sowie $COOR^a$, worin R^a für C_1 - C_4 -Alkyl, wie Methyl, Ethyl, Isopropyl und tert.-Butyl,

25 steht.

Nach einer ersten bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei den Liganden der Formel I um einzähnige Liganden. Dann sind die Reste R^5 und R^6 unabhängig voneinander ausgewählt unter Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl und Hetaryl, vorzugsweise unter Aryl und Hetaryl. Bevorzugt stehen R^5 und R^6 für gegebenenfalls substituierte Phenylreste. Des Weiteren bevorzugt steht R^5 für einen gegebenenfalls substituierten Phenylrest und R^6 für einen gegebenenfalls substituierten Hetarylrest. Vorzugsweise sind die Hetarylreste ausgewählt unter Resten der allgemeinen Formel III

30

35



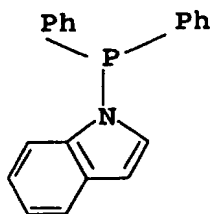
worin

45 R^1 , R^2 , R^3 und R^4 wie zuvor beschrieben definiert sind, wobei wenigstens einer der Reste nicht für Wasserstoff steht.

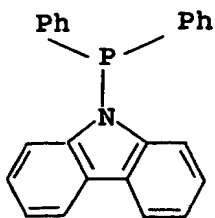
21

Lediglich zur Veranschaulichung der erfindungsgemäß eingesetzten einzähnigen Liganden werden im Folgenden einige vorteilhafte Verbindungen aufgelistet:

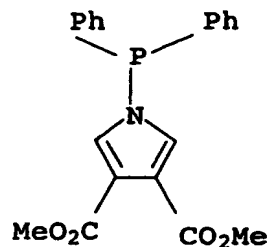
5



I

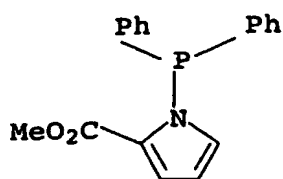


II

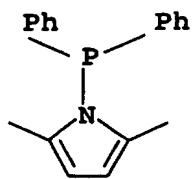


III

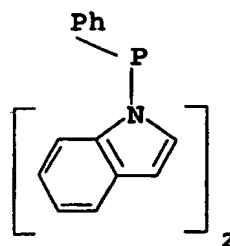
10



IV



V



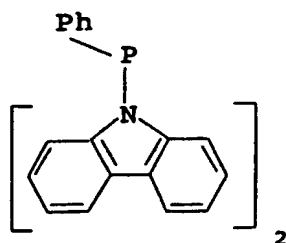
VI

15

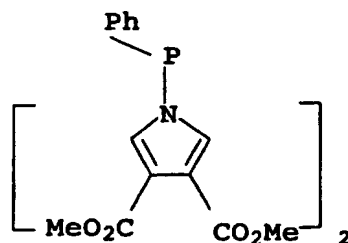
20

25

30



VII

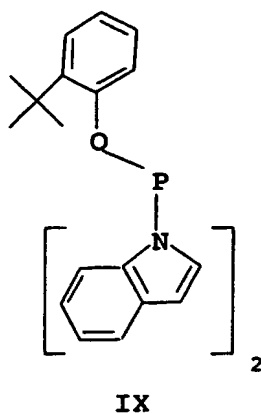


VIII

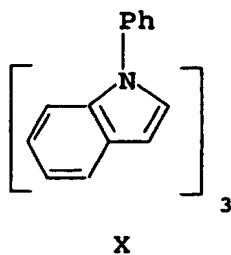
35

40

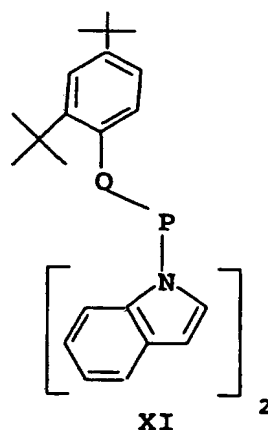
45



IX



X

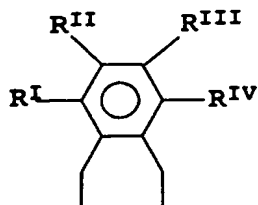


XI

Ph = Phenyl
Me = Methyl

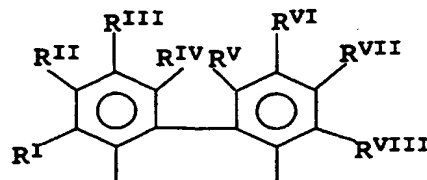
Nach einer zweiten bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei den Liganden der allgemeinen Formel I um zweizählige Liganden. Dann steht einer der Reste R^5 oder R^6 für eine zweiwertige verbrückende Gruppe Y, die zwei gleiche oder verschiedene Liganden der Formel I kovalent miteinander verbindet. Vorzugsweise ist die verbrückende Gruppe Y ausgewählt unter Gruppen der Formeln II.a bis II.t

10



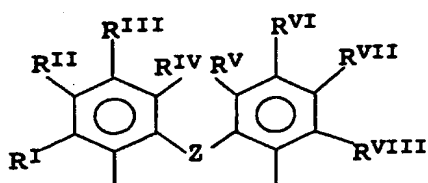
(II.a)

15



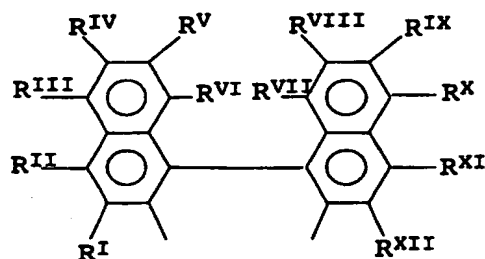
(II.b)

20



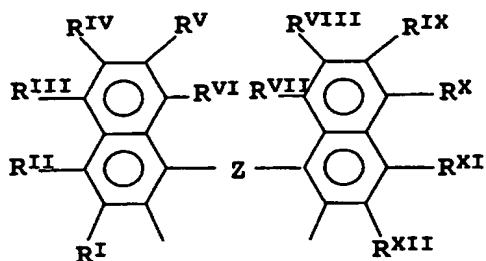
(II.c)

25



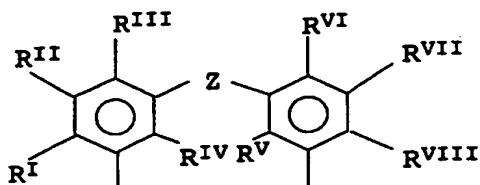
(II.d)

30



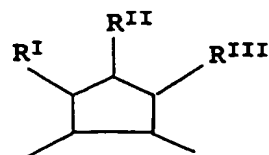
(II.e)

35



(II.f)

40

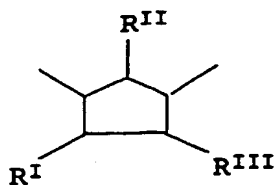


(II.g)

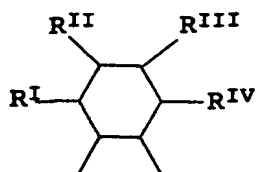
45

23

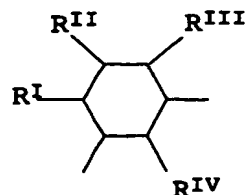
5



(II.h)

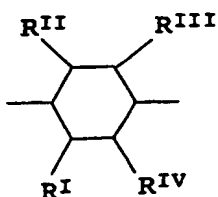


(II.i)

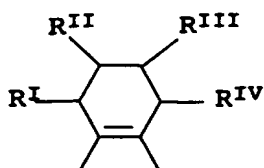


(II.k)

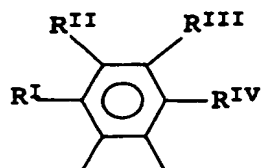
10



(II.l)

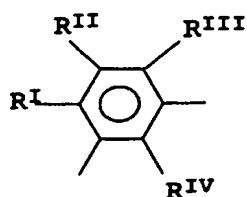


(II.m)

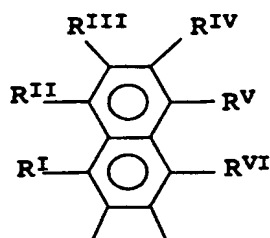


(II.n)

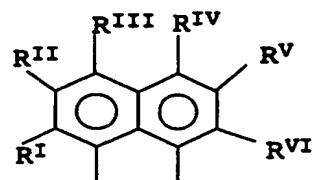
15



(II.o)



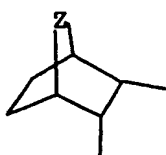
(II.p)



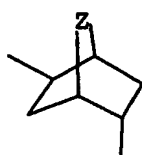
(II.q)

25

30



(II.r)



(II.s)



(II.t)

35 worin

R^I bis R^{XII} unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, SO_3H , Sulfonat, NE^4E^5 , Alkylen- NE^4E^5 , Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl, Carboxyl oder Cyano stehen, worin E^4 und E^5 jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl und Aryl bedeuten,

Z für O, S, NR^{15} oder $SiR^{15}R^{16}$ steht, wobei R^{15} und R^{16} unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen,

oder Z für eine C₁- bis C₄-Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl-, Heterocycloalkyl-, Aryl- oder Hetaryl-Substituenten aufweisen kann,

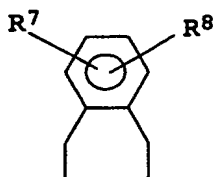
- 5 oder Z für eine C₂- bis C₄-Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR¹⁵ oder SiR¹⁵R¹⁶ unterbrochen ist,

wobei in den Gruppen der Formeln II.g bis II.m einer der Reste R^I bis R^{IV} auch für Oxo oder ein Ketal davon stehen kann.

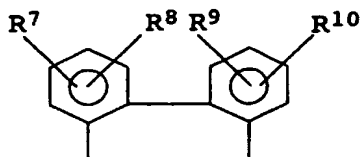
10

Vorzugsweise ist die verbrückende Gruppe Y ausgewählt unter Gruppen der Formeln II.1 bis II.5

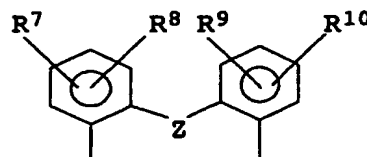
15



(II.1)

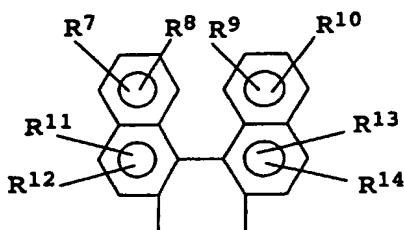


(II.2)

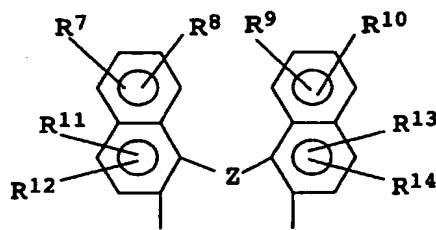


(II.3)

20



(II.4)



(II.5)

30 worin

R⁷, R⁸, R⁹, R¹⁰, R¹¹, R¹², R¹³ und R¹⁴ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, SO₃H, Sulfonat, NE⁴E⁵, Alkylen-NE⁴E⁵, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxy-carbonyl, Carboxyl oder Cyano stehen, worin E⁴ und E⁵ jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl und Aryl bedeuten,

35

Z für O, S, NR¹⁵ oder SiR¹⁵R¹⁶ steht, wobei

40

R¹⁵ und R¹⁶ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen,

oder Z für eine C₁- bis C₃-Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl-, Heterocycloalkyl-, Aryl- oder Hetaryl-Substituenten aufweisen kann,

45

oder Z für eine C₂- bis C₃-Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR¹⁵ oder SiR¹⁵R¹⁶ unterbrochen ist,

Die Substituenten R⁷, R⁸, R⁹ und R¹⁰ stehen im Allgemeinen für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl und Hetaryl. Bevorzugt stehen R⁷ und R⁹ für Wasserstoff und R⁸ und R¹⁰ für C₁- bis C₄-Alkyl, wie z. B. Methyl, Ethyl, n-Propyl, n-Butyl oder tert.-Butyl. Es versteht sich von selbst, dass die nicht mit Substituenten besetzten Positionen der Phenylringe der Brückengruppe Y ein Wasserstoffatom tragen.

Die Substituenten R⁷, R⁸, R⁹ und R¹⁰ stehen bevorzugt für Wasserstoff.

Wenn R⁷ und/oder R⁹ für ein ankondensiertes, also anelliertes, Ringsystem stehen, so handelt es sich bevorzugt um Benzol- oder Naphthalinringe. Anellierte Benzolringe sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 Substituenten auf, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, SO₃H, Sulfonat, NE¹E², Alkylen-NE¹E², Trifluormethyl, Nitro, COOR^f, Alkoxycarbonyl, Acyl und Cyano. Anellierte Naphthalinringe sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen im nicht anellierten Ring und/oder im anellierten Ring insgesamt 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 der zuvor bei den anellierten Benzolringen genannten Substituenten auf.

Bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.a, worin R^I und R^{IV} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy stehen. Vorzugsweise sind R^I und R^{IV} ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{II} und R^{III} für Wasserstoff.

Bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.b, worin R^{IV} und R^V unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy stehen. Vorzugsweise sind R^{IV} und R^V ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^I, R^{II}, R^{III}, R^{VI}, R^{VII} und R^{VIII} für Wasserstoff.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.b, worin R^I und R^{VIII} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy stehen. Besonders bevorzugt stehen R^I und R^{VIII} für tert.-Butyl. Besonders bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{II}, R^{III}, R^{IV}, R^V, R^{VI}, R^{VII} für Wasserstoff. Des Weiteren bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{III} und R^{VI} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy. Besonders bevorzugt sind R^{III} und R^{VI} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl,

Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.b, worin R^{II} und R^{VII} für Wasserstoff stehen. Bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^I, R^{III}, R^{IV}, R^V, R^{VI} und R^{VIII} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy. Besonders bevorzugt sind R^I, R^{III}, R^{IV}, R^V, R^{VI} und R^{VIII} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy.

- 10 Weiterhin bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.c, worin Z für eine C₁-C₄-Alkylengruppe, insbesondere Methylen, steht. Bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{IV} und R^V unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy. Besonders bevorzugt sind R^{IV} und R^V unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Die Reste R^I, R^{II}, R^{III}, R^{VI}, R^{VII} und R^{VIII} stehen vorzugsweise für Wasserstoff.

- Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.c, worin Z für eine C₁-C₄-Alkylenbrücke steht, die wenigstens einen Alkyl-, Cycloalkyl- oder Arylrest aufweist. Besonders bevorzugt steht Z für eine Methylenbrücke, die zwei C₁-C₄-Alkylreste, insbesondere zwei Methylreste, aufweist. Vorzugsweise stehen in diesen Verbindungen die Reste R^I und R^{VIII} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy. Besonders bevorzugt sind R^I und R^{VIII} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy.

- Weiterhin bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.d, worin R^I und R^{XII} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy stehen. Insbesondere sind R^I und R^{XII} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Besonders bevorzugt stehen in diesen Verbindungen die Reste R^{II} bis R^{XI} für Wasserstoff.

- 35 Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.e, worin R^I und R^{XII} unabhängig voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy stehen. Insbesondere sind R^I und R^{XII} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Besonders bevorzugt stehen in diesen Verbindungen die Reste R^{II} bis R^{XI} für Wasserstoff.

- Weiterhin bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.f, worin Z für eine C₁-C₄-Alkylengruppe steht, die wenigstens einen Alkyl-, Cycloalkyl- oder Arylsubstituenten aufweist. Besonders bevorzugt steht Z für eine Methylengruppe, die zwei C₁-C₄-Alkylreste, speziell zwei Methylreste, aufweist. Besonders bevorzugt stehen in diesen Verbindungen die Reste R^I und R^{VIII} unabhängig

voneinander für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy. Insbesondere sind R^I und R^{VIII} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Die Reste R^{II}, R^{III}, R^{IV}, R^V, R^{VI} und R^{VII} stehen vorzugsweise für Wasserstoff.

5

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.g, worin R^I, R^{II} und R^{III} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.g,
10 worin das Ringkohlenstoffatom, das den Rest R^{II} trägt, kein zusätzliches Wasserstoffatom, sondern eine Oxo-Gruppe oder ein Ket-
tal davon trägt und R^I und R^{III} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.h,
15 worin R^I, R^{II} und R^{III} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.h,
worin das Ringkohlenstoffatom, das den Rest R^{II} trägt, kein zu-
sätzliches Wasserstoffatom, sondern eine Oxo-Gruppe oder ein Ke-
20 tal davon trägt und R^I und R^{III} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.i,
worin R^I, R^{II}, R^{III} und R^{IV} für Wasserstoff stehen.

25 Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.k,
worin R^I, R^{II}, R^{III} und R^{IV} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.l,
worin R^I, R^{II}, R^{III} und R^{IV} für Wasserstoff stehen.

30

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.m,
worin R^I, R^{II}, R^{III} und R^{IV} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.n,
35 worin R^I, R^{II}, R^{III} und R^{IV} für Wasserstoff stehen.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.n,
worin einer der Reste R^I bis R^{IV} für C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy
steht. Besonders bevorzugt steht dann wenigstens einer der Reste
40 R^I bis R^{IV} für Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl oder Methoxy.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.o,
worin R^I, R^{II}, R^{III} und R^{IV} für Wasserstoff stehen.

45 Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.o,
worin einer der Reste R^I, R^{II}, R^{III} oder R^{IV} für C₁-C₄-Alkyl
oder C₁-C₄-Alkoxy steht. Besonders bevorzugt steht dann einer der

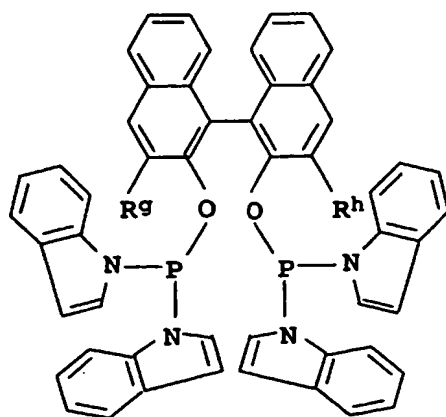
Reste R^I bis R^{IV} für Methyl, Ethyl, tert.-Butyl oder Methoxy.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.p, worin R^I und R^{VI} unabhängig voneinander für C_1 - C_4 -Alkyl oder C_1 - C_4 -Alkoxy stehen. Besonders bevorzugt sind R^I und R^{VI} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Besonders bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{II} , R^{III} , R^{IV} und R^V für Wasserstoff. Des Weiteren bevorzugt stehen in den Verbindungen II.p R^I , R^{III} , R^{IV} und R^{VI} unabhängig voneinander für C_1 - C_4 -Alkyl oder C_1 - C_4 -Alkoxy. Besonders bevorzugt sind R^I , R^{III} , R^{IV} und R^{VI} dann unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy.

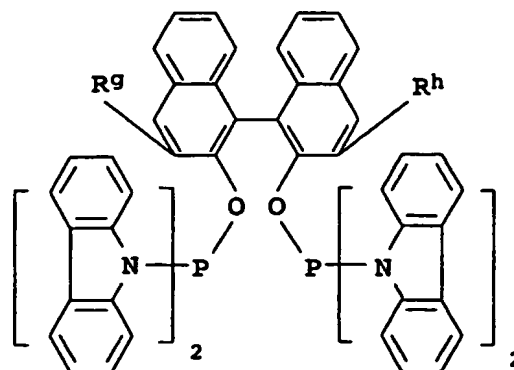
Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.q, worin R^I und R^{VI} unabhängig voneinander für C_1 - C_4 -Alkyl oder C_1 - C_4 -Alkoxy stehen. Besonders bevorzugt sind R^I und R^{VI} unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy. Besonders bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{II} , R^{III} , R^{IV} und R^V für Wasserstoff. Des Weiteren bevorzugt stehen in diesen Verbindungen R^{III} und R^{IV} unabhängig voneinander für C_1 - C_4 -Alkyl oder C_1 - C_4 -Alkoxy. Besonders bevorzugt sind R^{III} und R^{IV} dann unabhängig voneinander ausgewählt unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert.-Butyl und Methoxy.

Des Weiteren bevorzugt steht Y für eine Gruppe der Formel II.r, II.s oder II.t, worin Z für CH_2 , C_2H_2 oder C_2H_4 steht.

Lediglich zur Veranschaulichung der erfindungsgemäß eingesetzten zweizähligen Verbindungen werden im Folgenden einige aufgelistet:

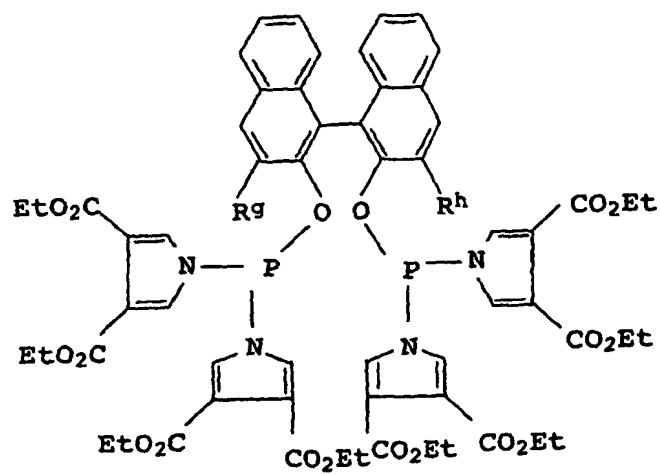


XI

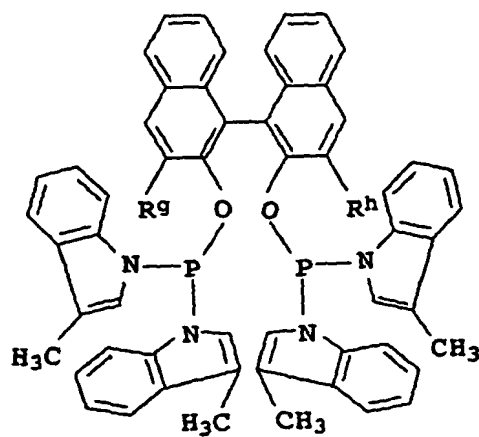


XII

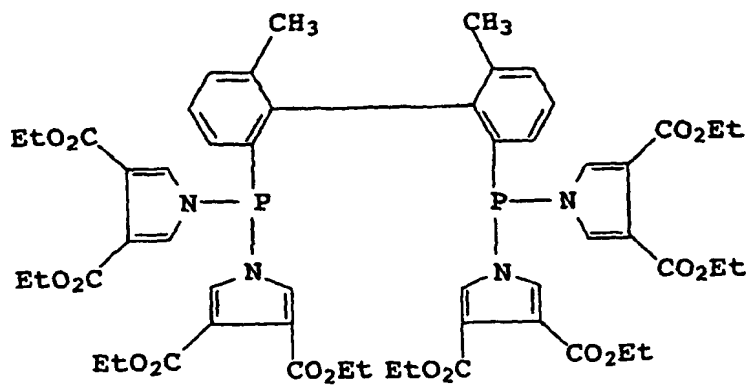
29



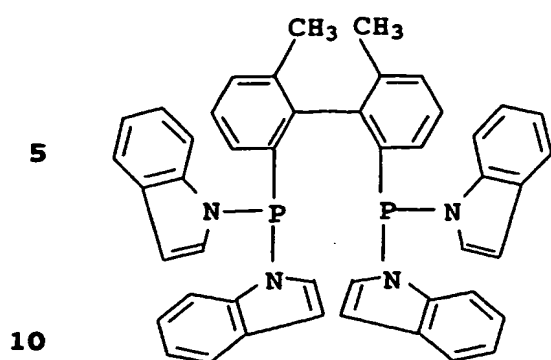
XIII



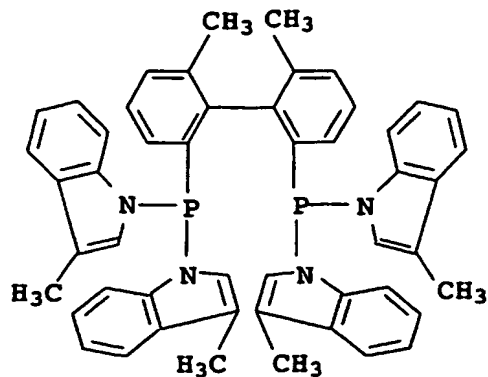
XIV



XV



XVI

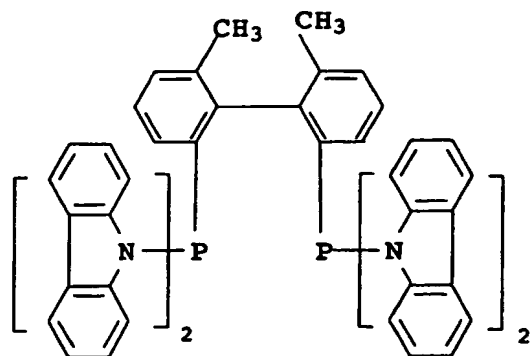


XVII

15

20

25

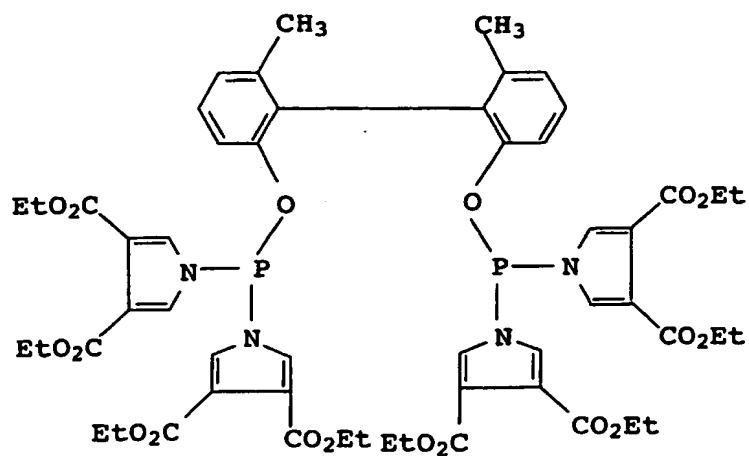


XVIII

30

35

40



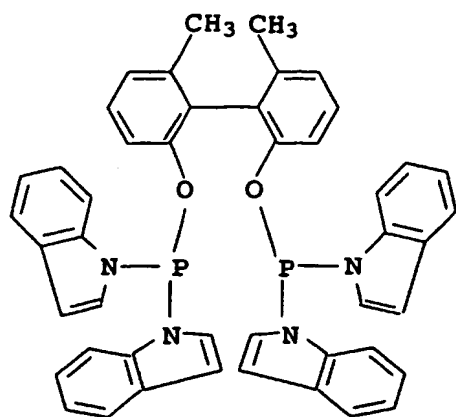
XIX

45

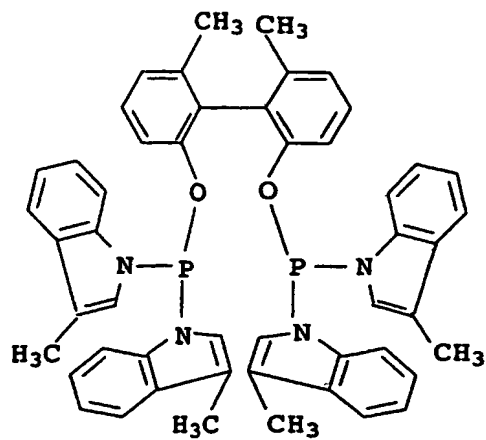
31

5

10



XX

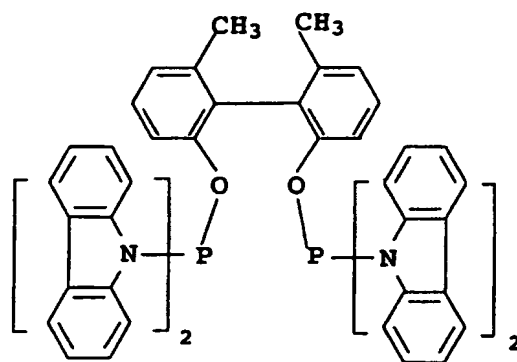


XXI

15

20

25

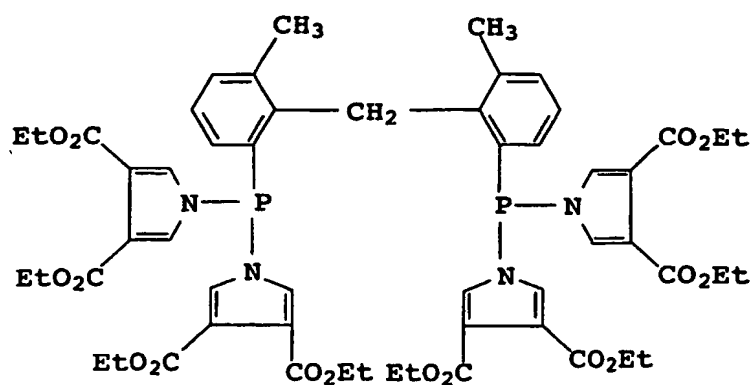


XXII

30

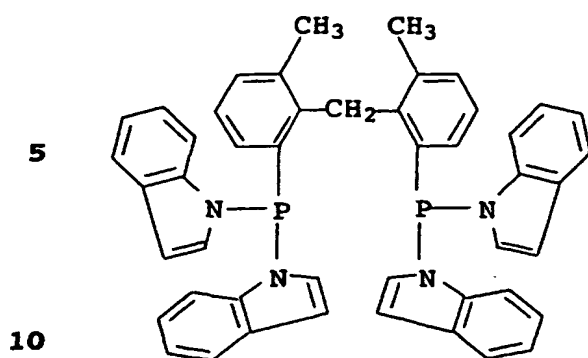
35

40

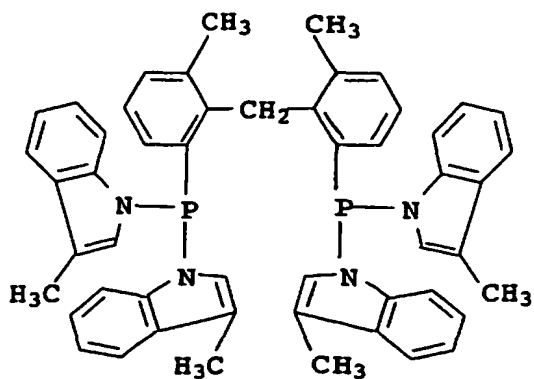


XXIII

45



XXIV

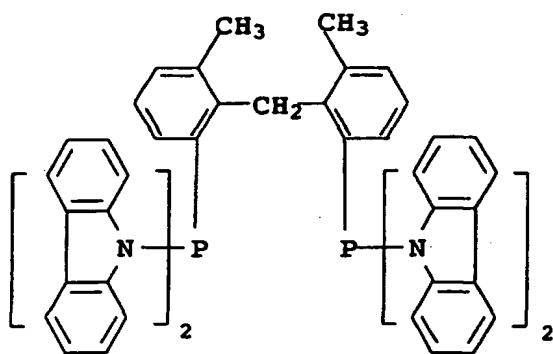


XXV

15

20

25

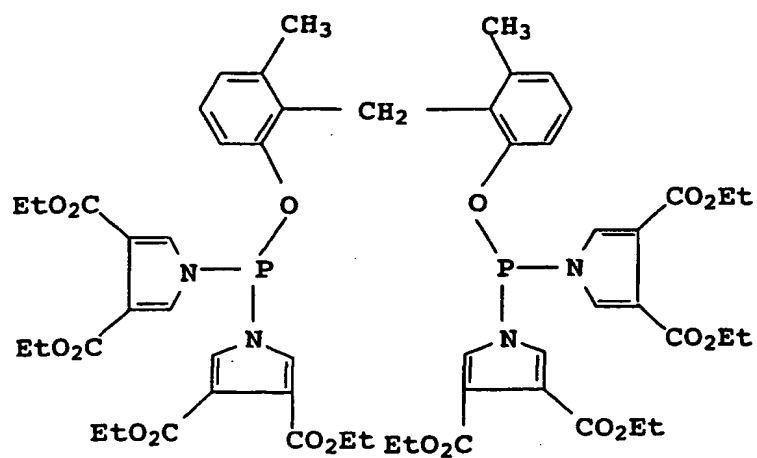


XXVI

30

35

40

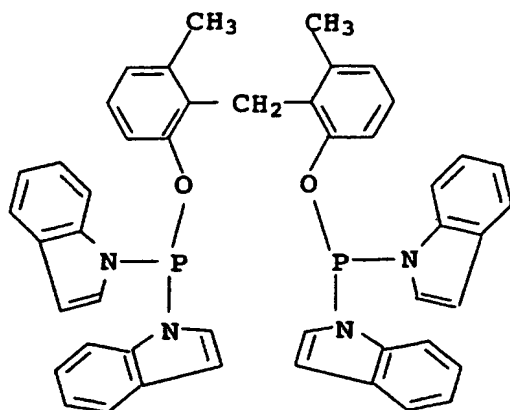


XXVII

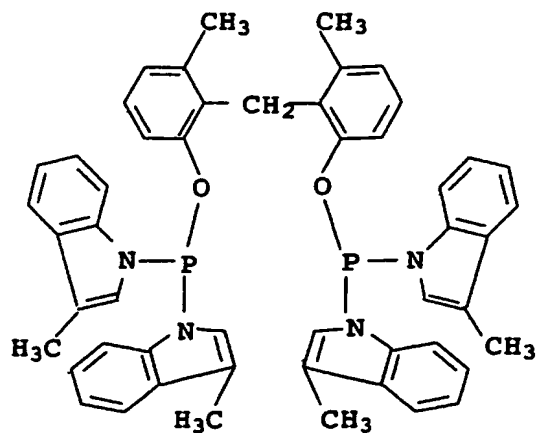
45

5

10



XXVIII

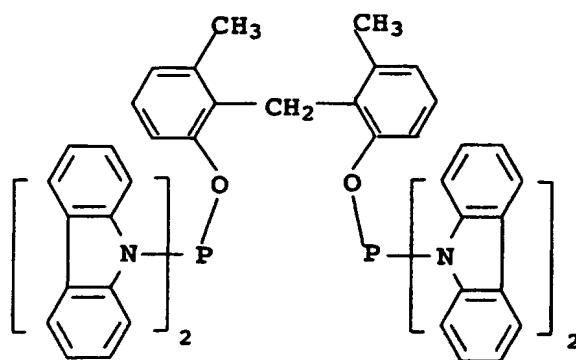


XXIX

15

20

25

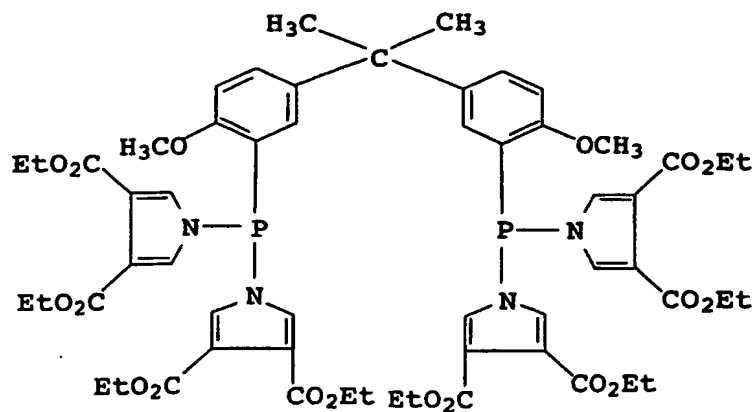


XXX

30

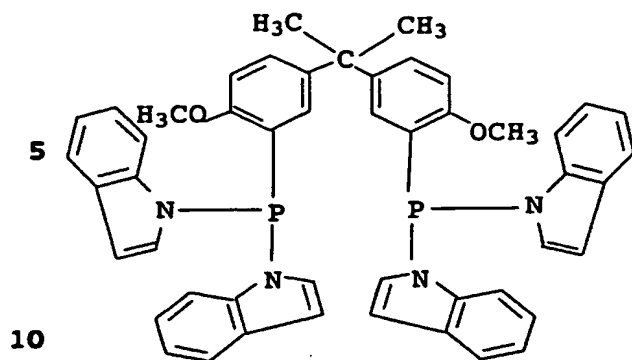
35

40

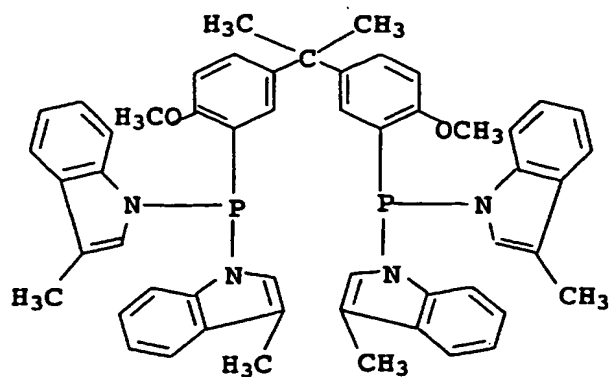


XXXI

45



XXXII

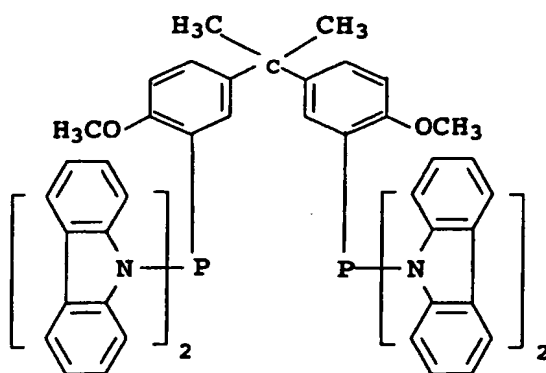


XXXIII

15

20

25

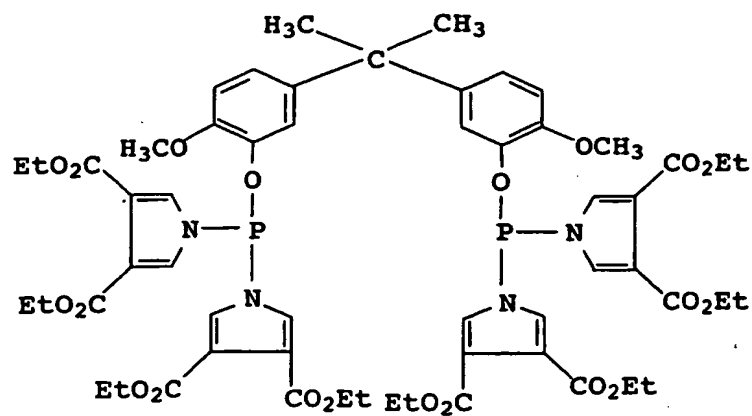


XXXIV

30

35

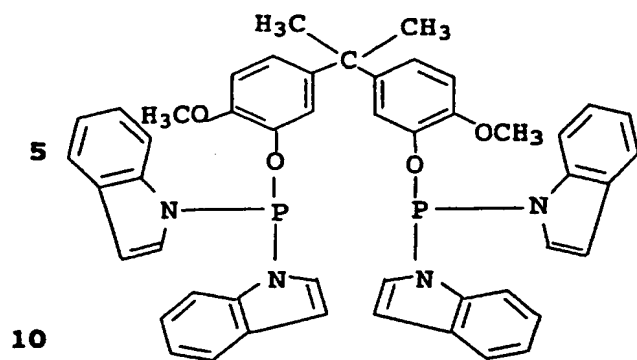
40



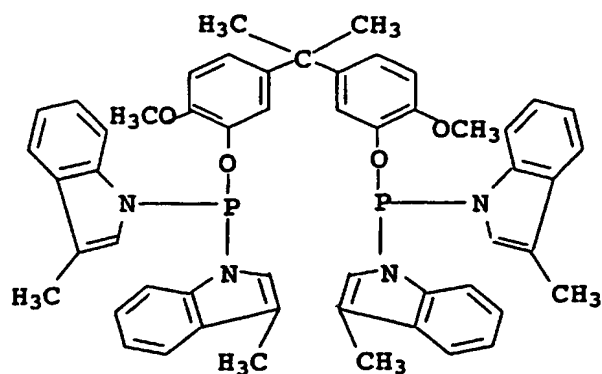
XXXV

45

35

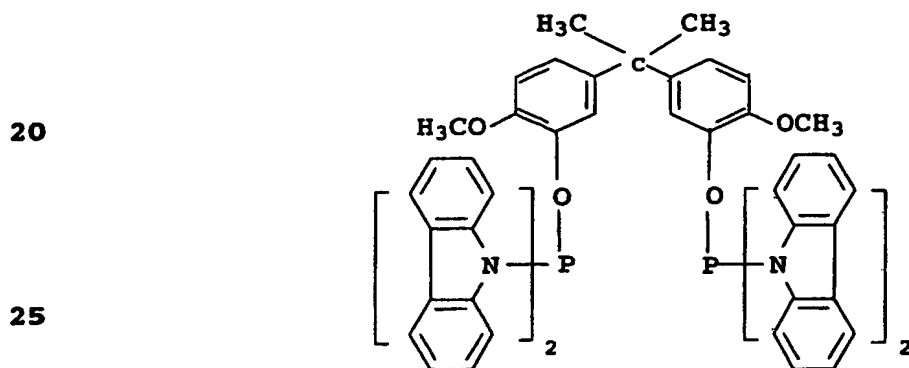


XXXVI



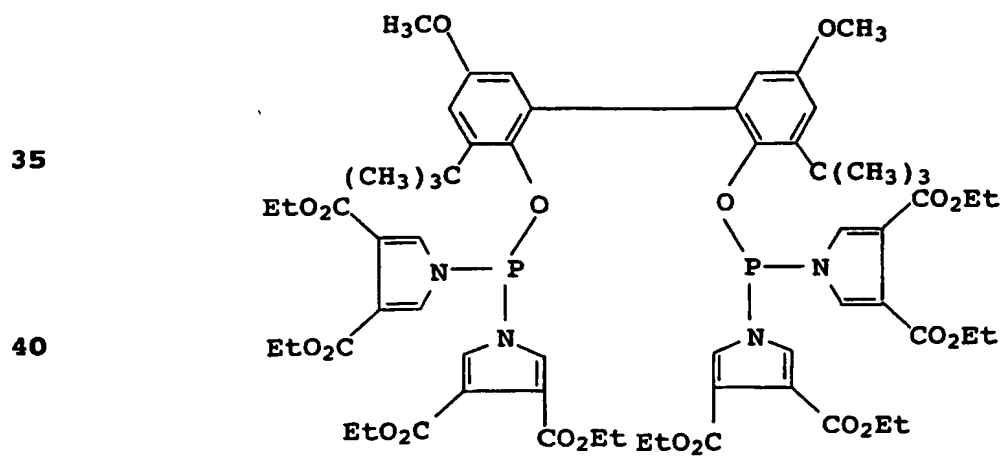
XXXVII

15



XXXVIII

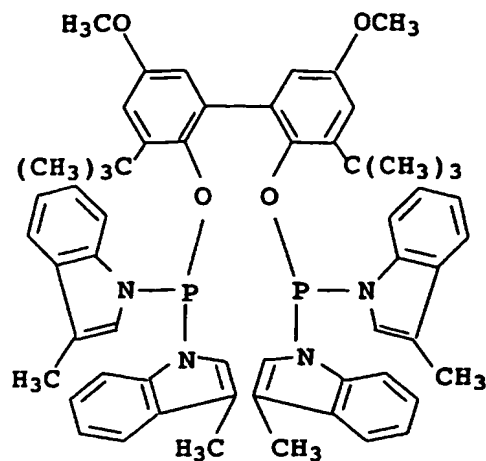
30



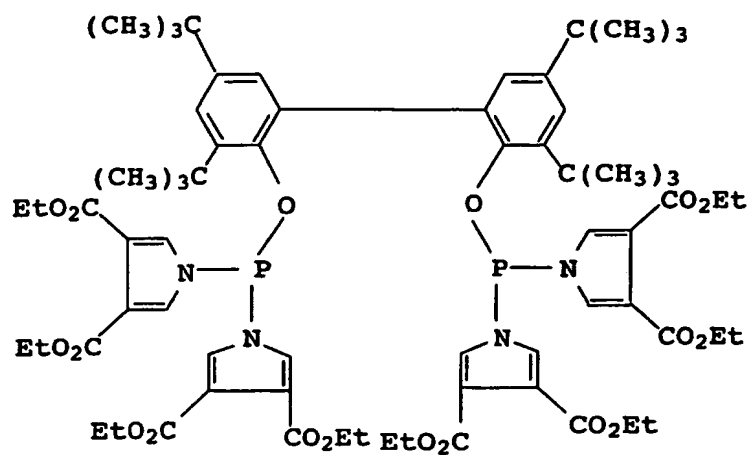
XXXIX

45

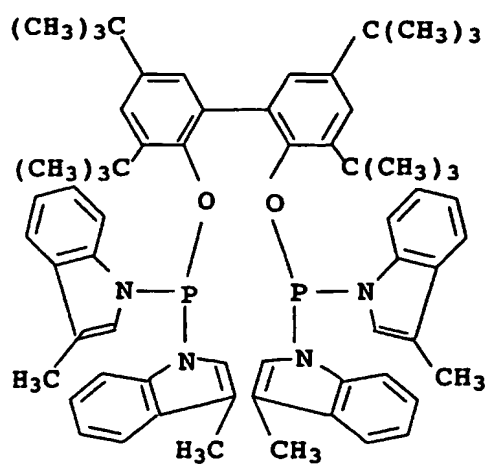
36



XL

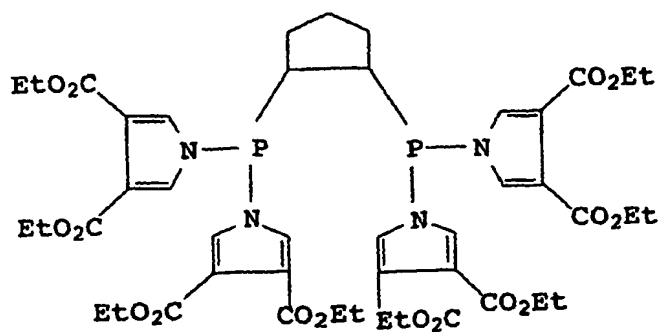


XLI

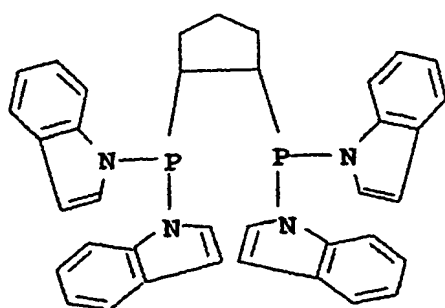


XLII

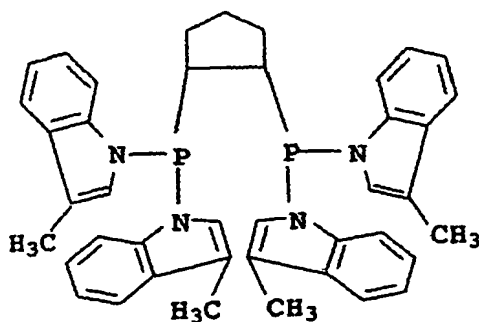
37



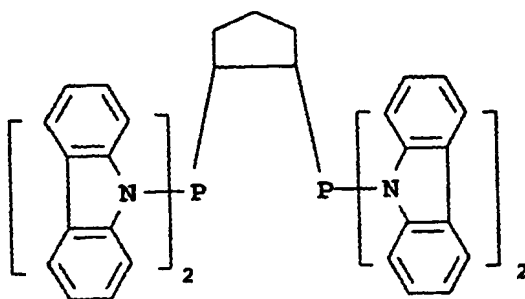
XLIII



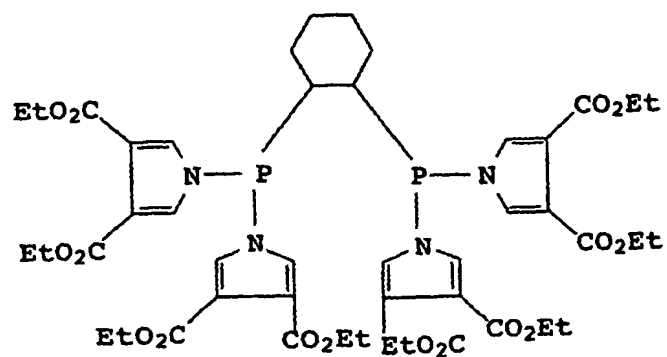
XLIV



XLV

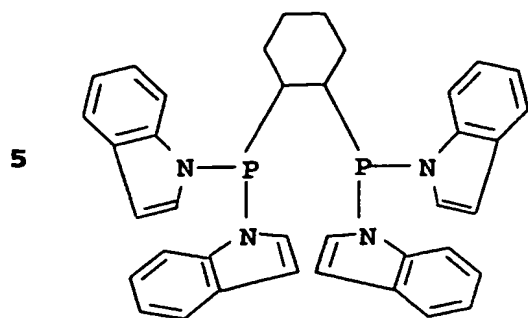


XLVI

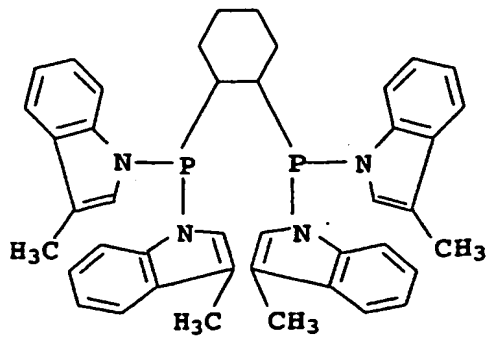


XLVII

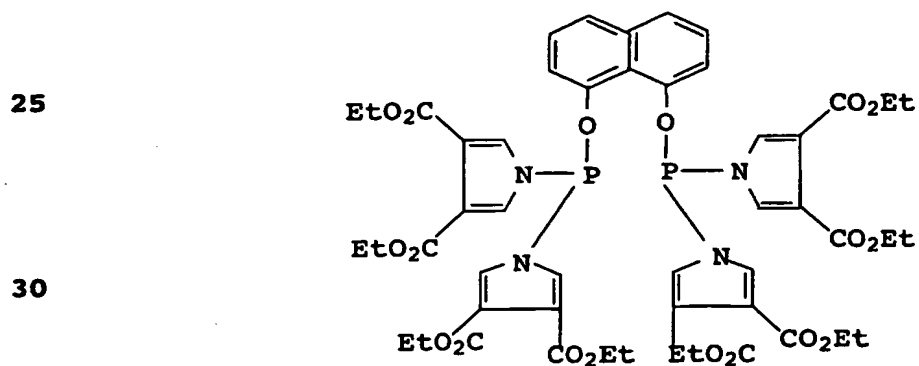
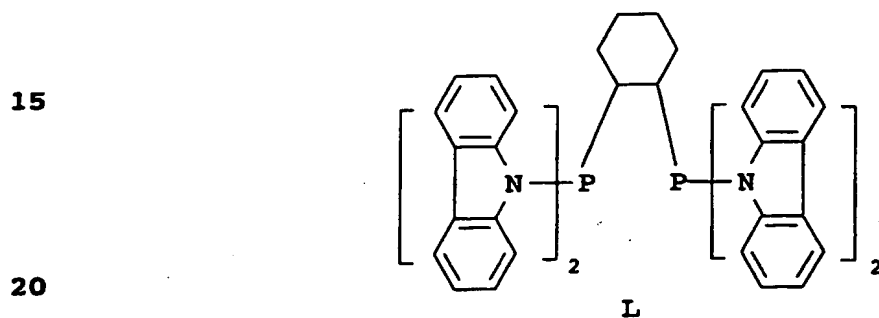
38



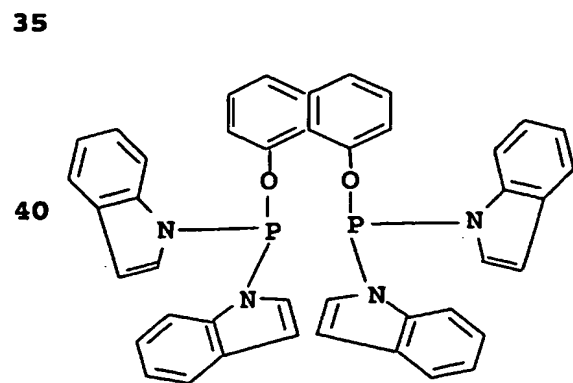
XLVIII



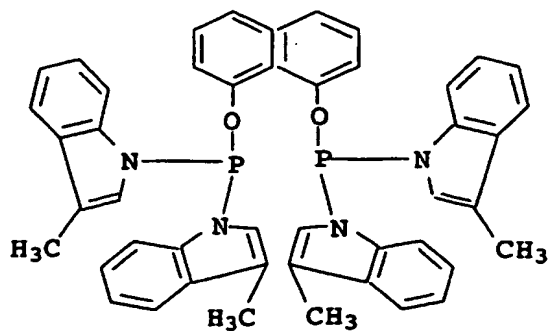
XLIX



LI

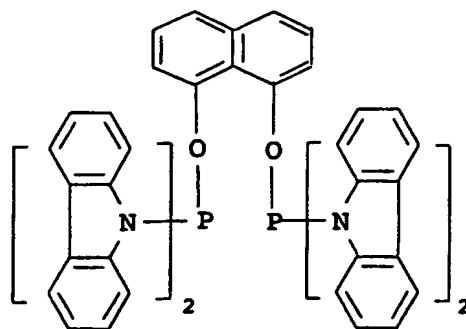


LII

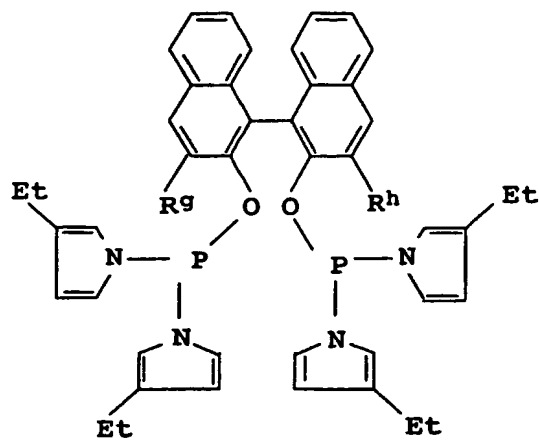


LIII

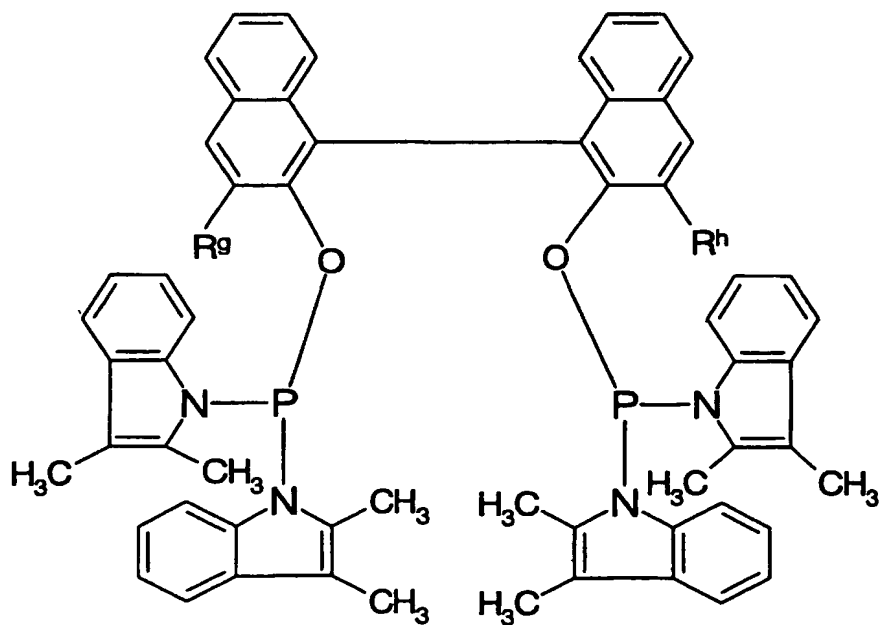
39



LIV

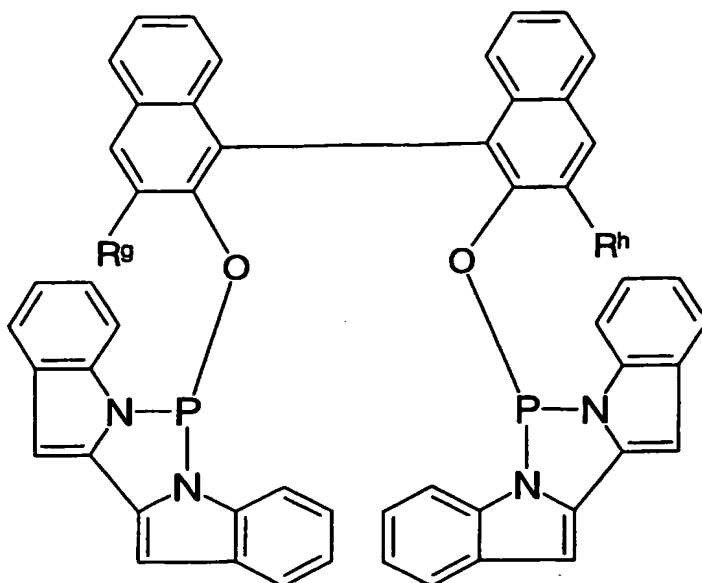


LV

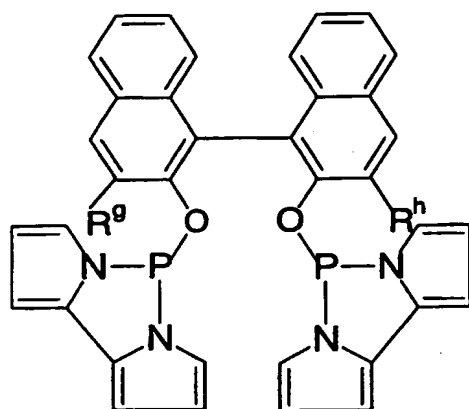


LVI

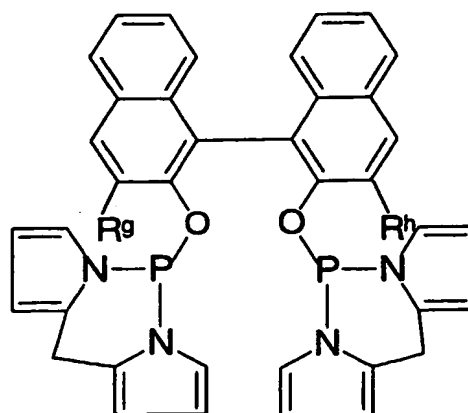
40



LVII



LVIII

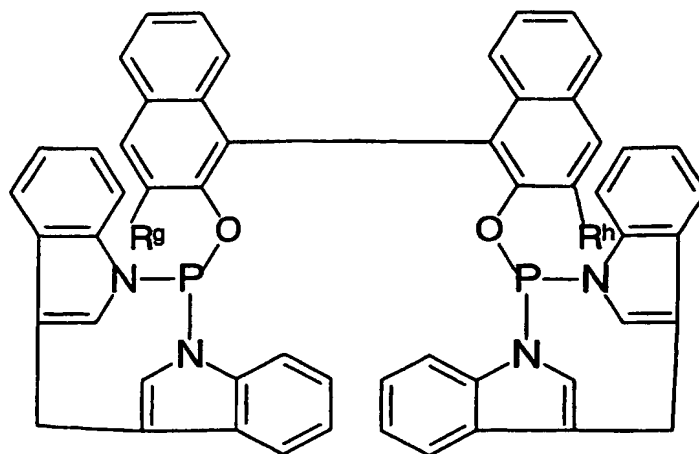


LIX

41

5

10

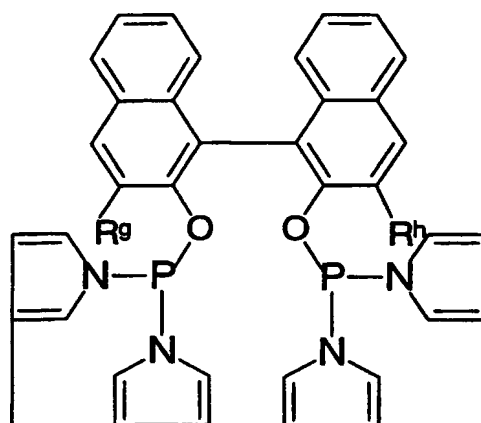


LX

15

20

25

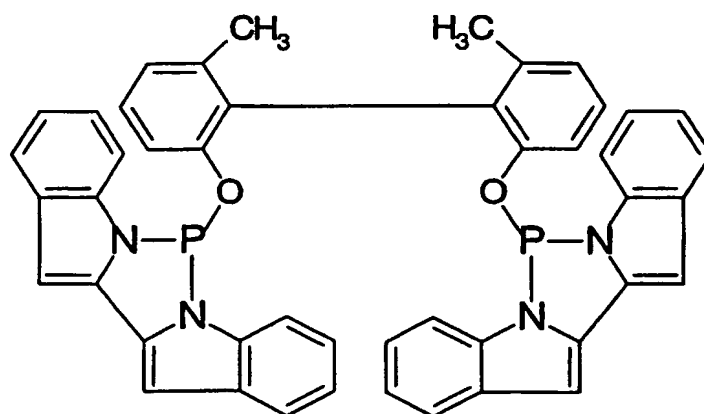


LXI

30

35

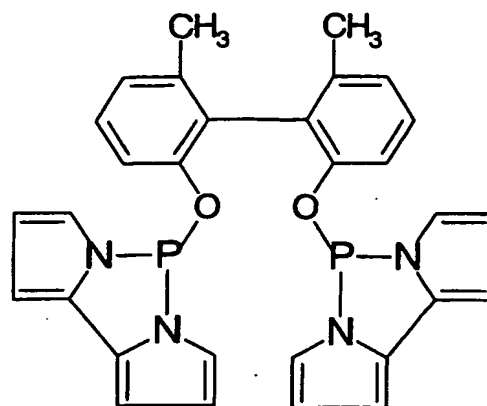
40



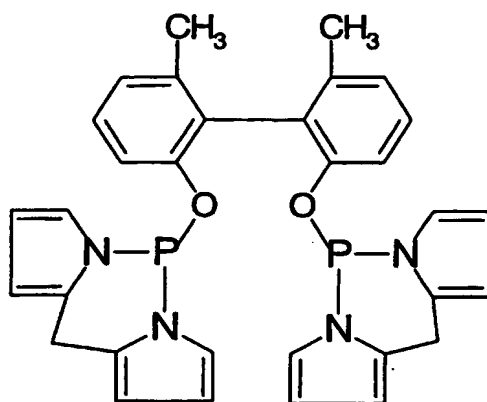
LXII

45

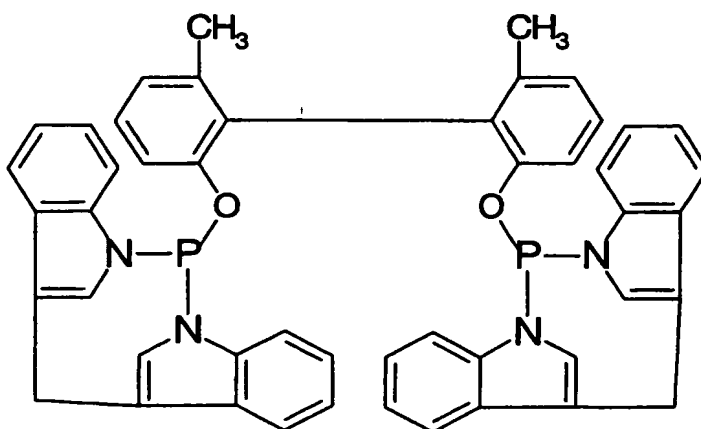
42



LXIII



LXIV

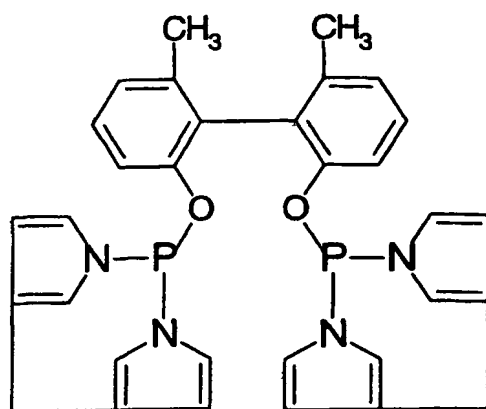


LXV

43

5

10

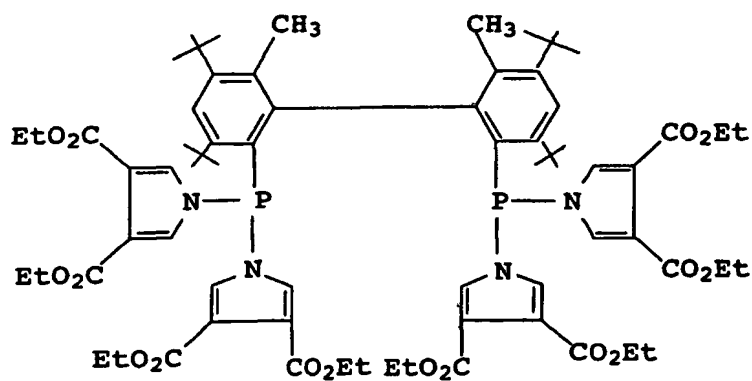


LXVI

15

20

25

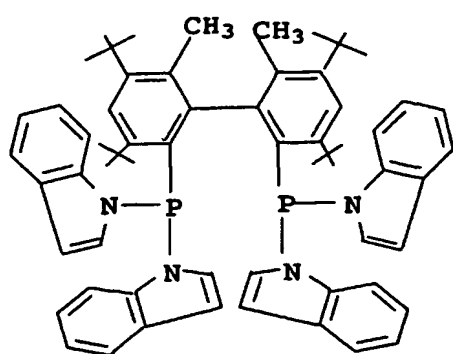


LXVII

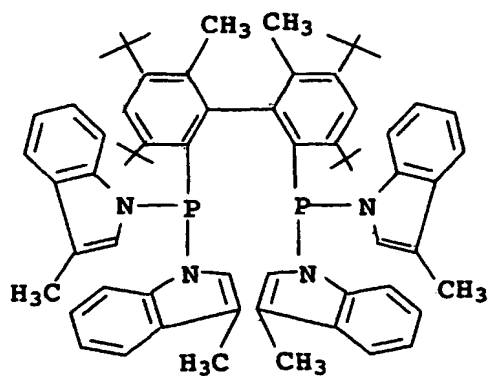
30

35

40



LXVIII

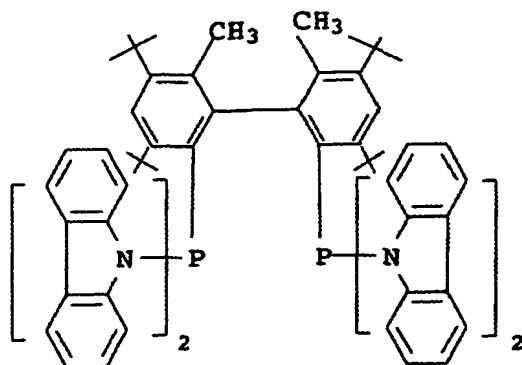


LXIX

45

5

10

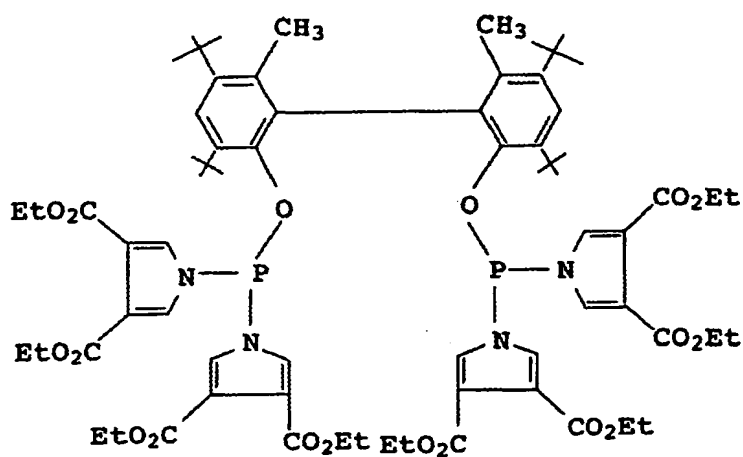


LXX

15

20

25

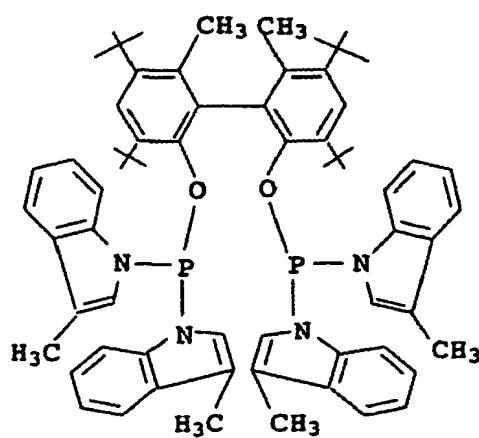


LXXI

30

35

40



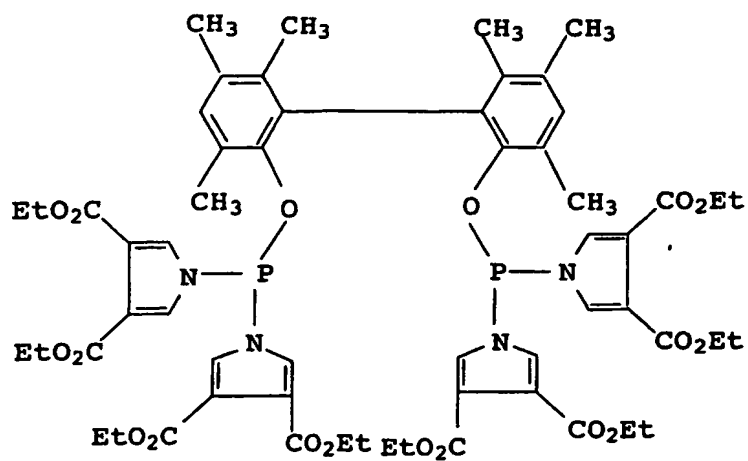
LXXII

45

45

5

10

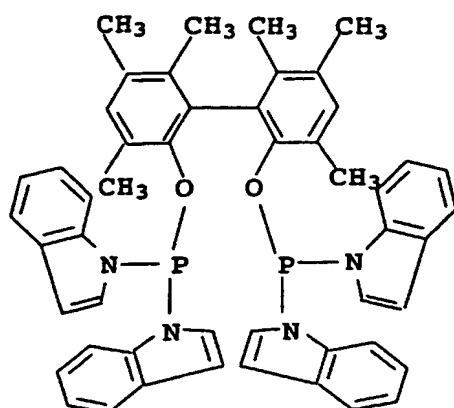


LXXIII

15

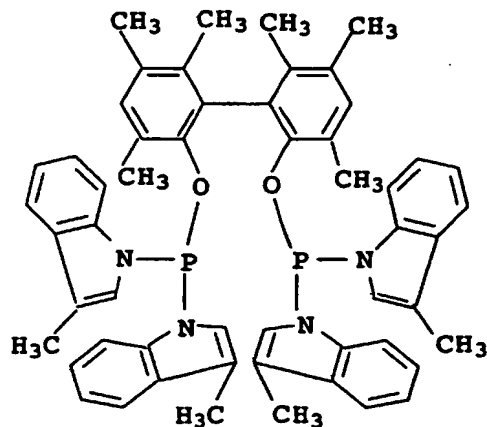
20

25



LXXIV

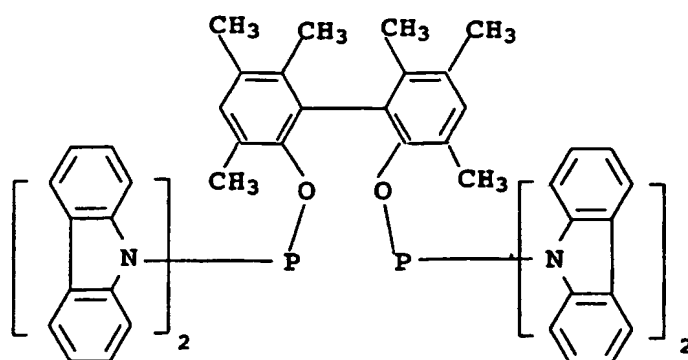
30



LXXV

35

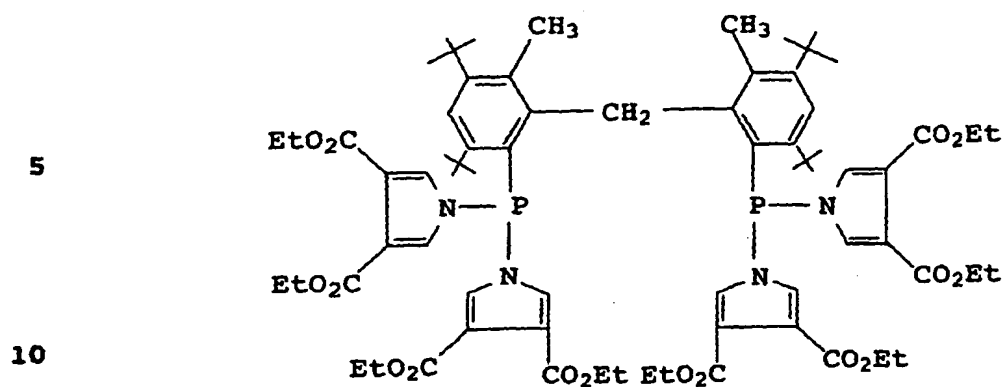
40



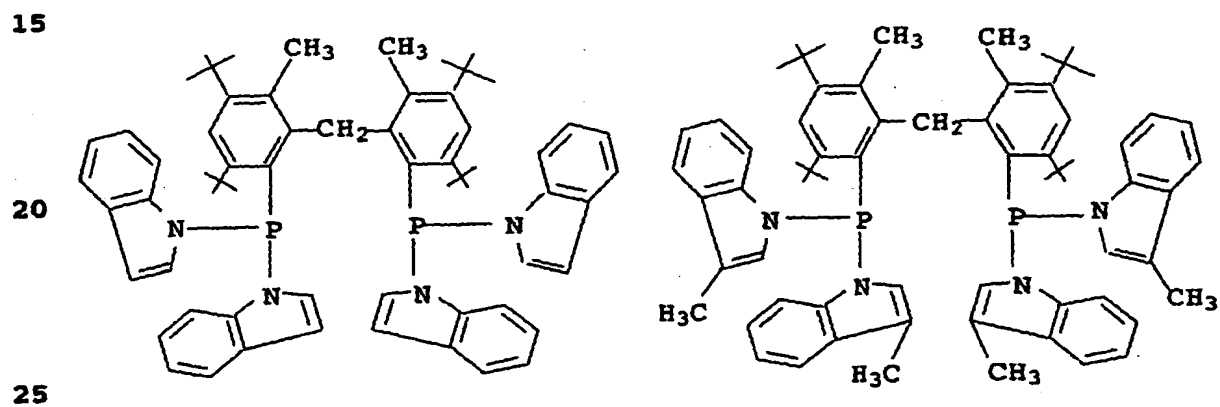
LXXVI

45

46

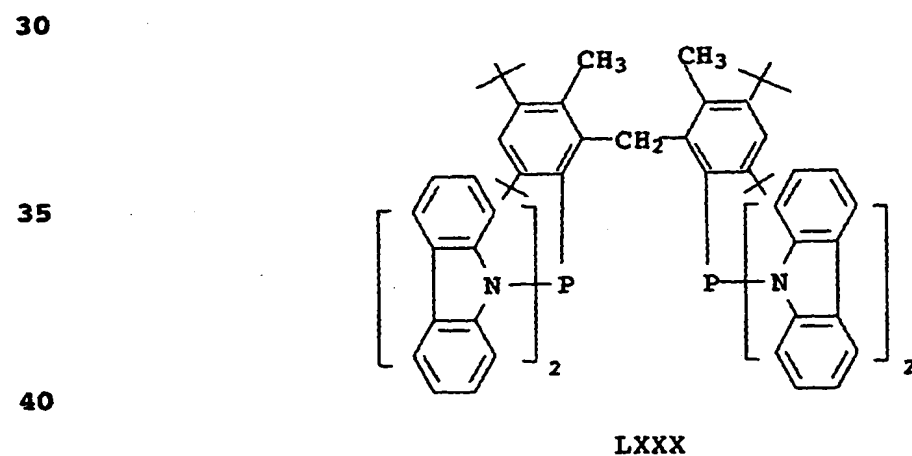


LXXVII



LXXVIII

LXXIX



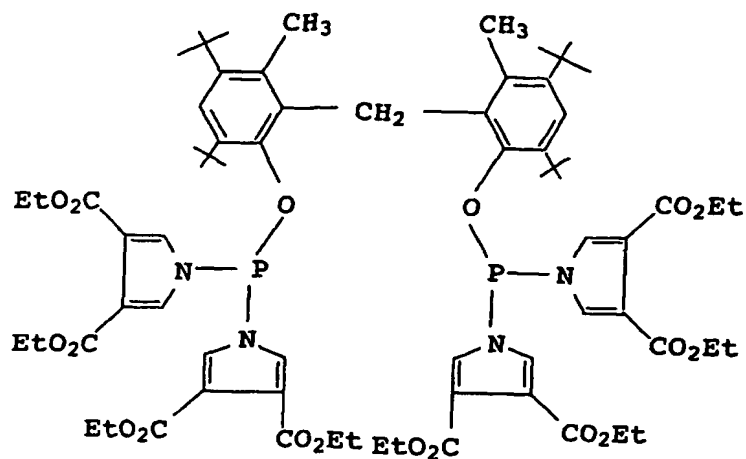
LXXX

45

47

5

10

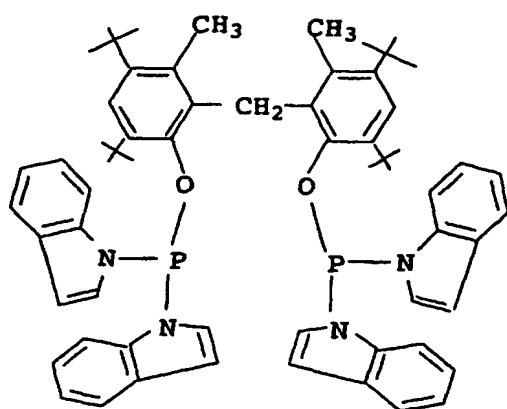


15

LXXXI

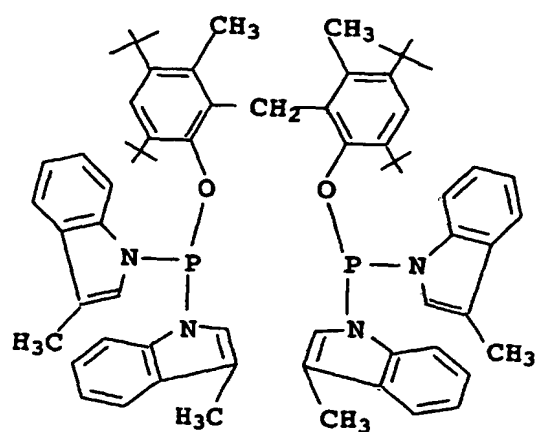
20

25



LXXXII

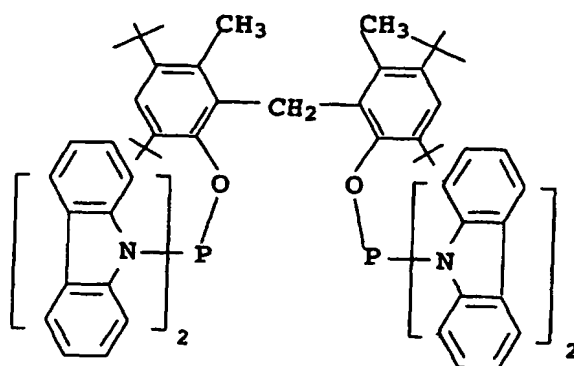
30



LXXXIII

35

40



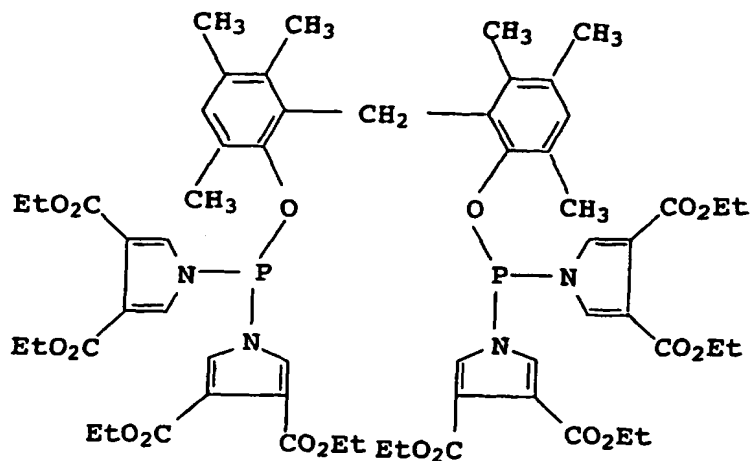
LXXXIV

45

48

5

10

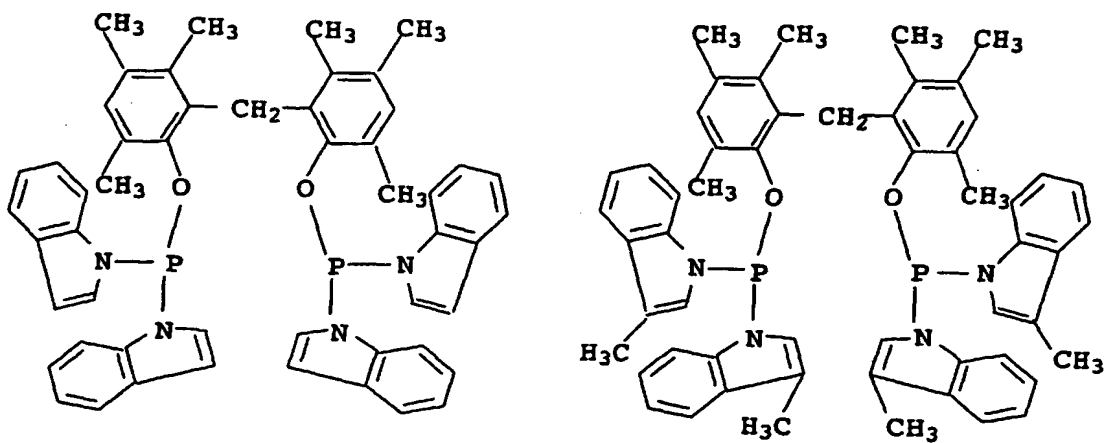


15

LXXXV

20

25



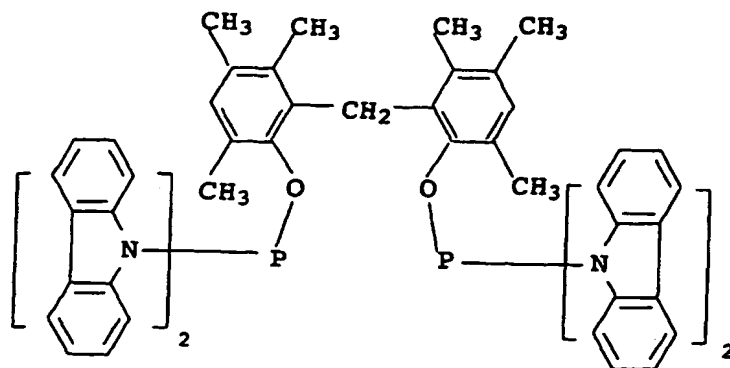
30

LXXVI

LXXXVII

35

40



LXXXVIII

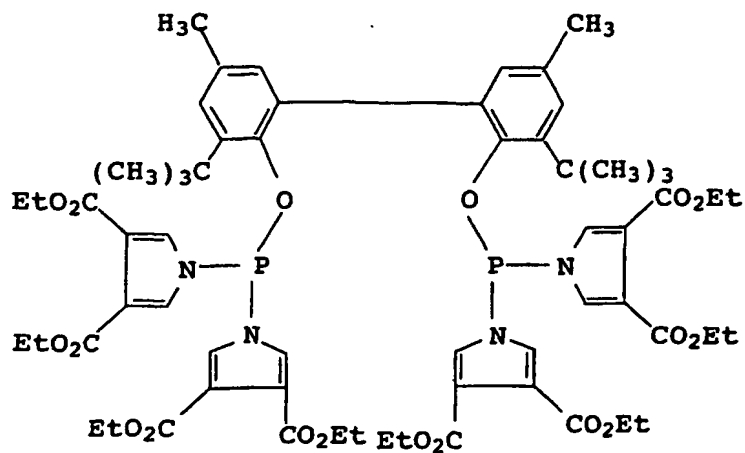
45

49

5

10

15

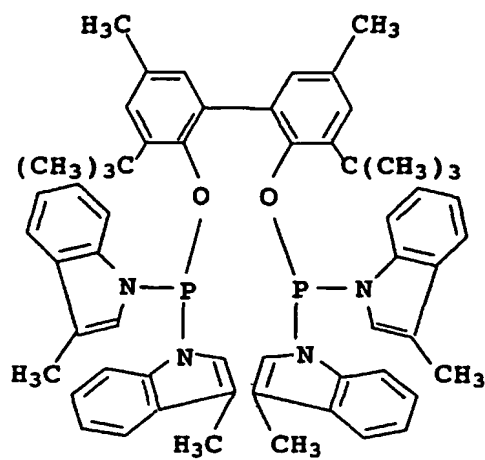


LXXXIX

20

25

30

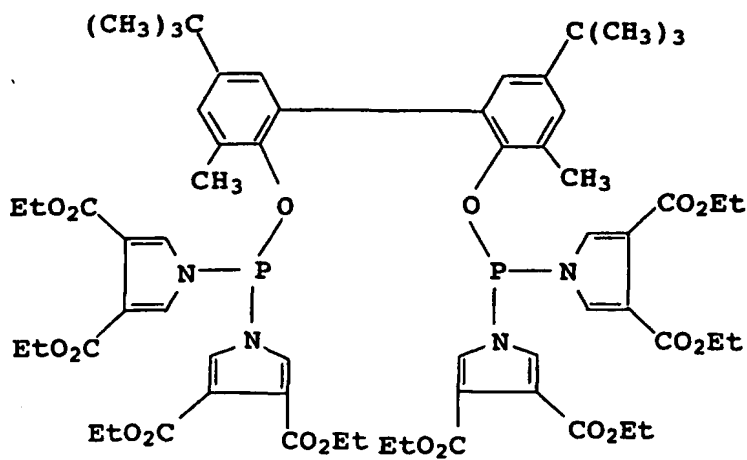


LXXXX

35

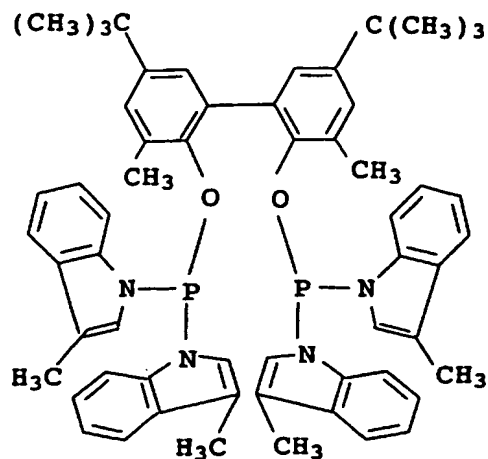
40

45

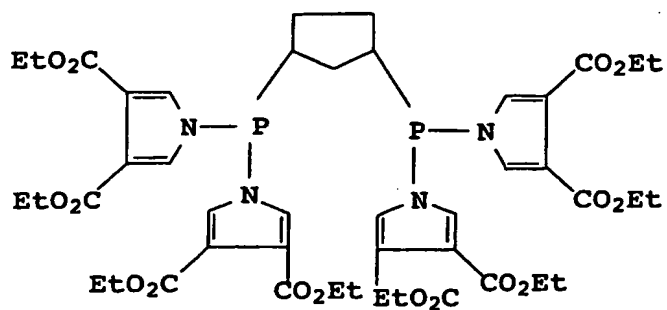


LXXXXXI

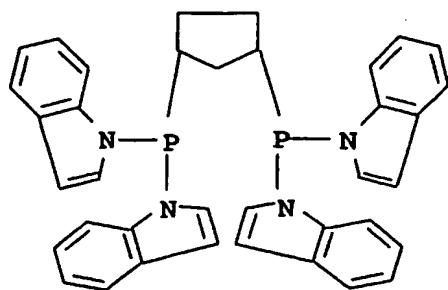
50



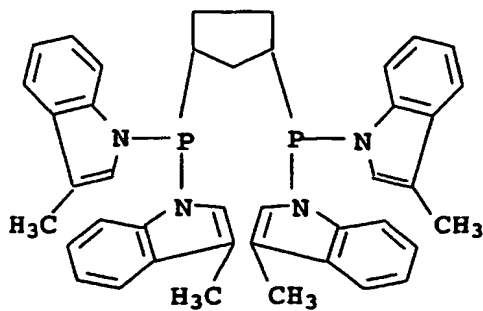
LXXXXII



LXXXXIII

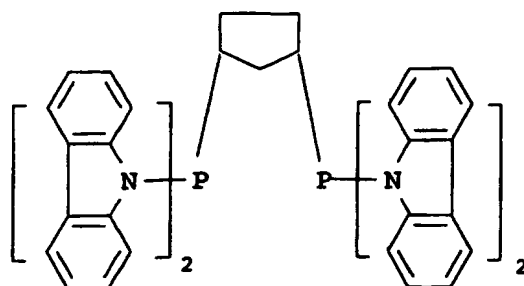


LXXXXIV



LXXXXV

51



LXXXXVI

Me = Methyl

Et = Ethyl

15 R^g = H, CarboxylatR^h = H, Carboxylat

Die Herstellung der erfindungsgemäß eingesetzten einzähnigen
Phosphorpyrrolverbindungen der allgemeinen Formel I kann bei-
20 spielsweise gemäß folgendem Schema 1 erfolgen:

25

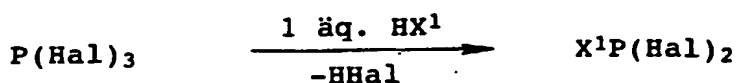
30

35

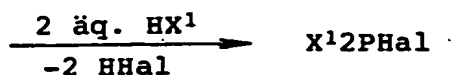
40

45

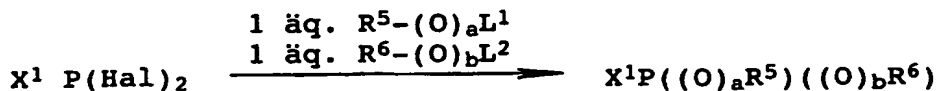
Schema 1



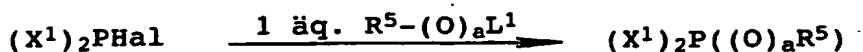
5



10

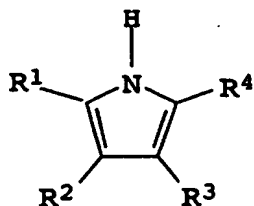


15



Hal = Cl, Br

20

X¹ =

25

L¹, L² = Abgangsgruppen

30 Darin haben R¹, R², R³, R⁴, R⁵ und R⁶ die zuvor genannte Bedeutung. L¹ und L² stehen für eine Abgangsgruppe, die falls a bzw. b für die Zahl 0 steht, beispielsweise ausgewählt ist unter Halogen, insbesondere Fluor, Chlor, Brom, SO₃M mit M = Wasserstoff oder Alkalimetall, insbesondere Li, Na oder K, oder falls a bzw. b für
 35 die Zahl 1 stehen, beispielsweise für Wasserstoff, C(O)CF₃, SO₂CH₃, SO₂-Tolyl oder SO₂CF₃ stehen kann.

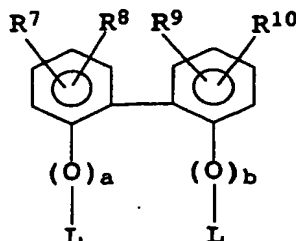
Die Herstellung der erfindungsgemäß eingesetzten zweizähligen Phosphorpyrrolverbindungen der Formel I kann analog zu Schema 1
 40 ausgehend von Verbindungen L¹-(O)_b-Y-(O)_a-L¹ erfolgen.

So kann die Herstellung von Verbindungen der Formel II.2 beispielsweise ausgehend von Verbindungen der Formel II.2a

45

53

5



(II.2a)

10 erfolgen, in denen R^7 , R^8 , R^9 , R^{10} , a und b die genannte Bedeutung haben und L für eine Abgangsgruppe steht, die falls a und b für die Zahl 0 stehen, beispielsweise für Wasserstoff, Halogen, insbesondere Fluor, Chlor, Brom, SO_3M mit M = Wasserstoff oder Alkalimetall, insbesondere Li, Na oder K, stehen kann, oder falls a und b für die Zahl 1 stehen, beispielsweise für Wasserstoff, $C(O)CF_3$, SO_2CH_3 , SO_2 -Tolyl oder SO_2CF_3 stehen kann.

Die Ausgangsverbindungen der allgemeinen Formel II.2a mit a , $b = 0$ können gemäß den von van Leuwen et al., Organometallics 14, 20 3081 (1995) angegebenen Methoden hergestellt werden.

Die Ausgangsverbindungen der allgemeinen Formel II.2a mit a , $b = 1$ und $L = H$, können z. B. aus den entsprechenden 2,2'-Dibromverbindungen der allgemeinen Formel II (a , $b = 0$; $L = Br$) z. B. 25 durch Metallierung mit Alkalimetallorganyle, wie n -Butyllithium, tert. Butyllithium oder dergleichen, anschließende Umsetzung mit einem Boran, wie $B(OCH_3)_3$ oder $B(OCH(CH_3)_2)_3$ und Oxidation der dabei gebildeten Diboranverbindung mit einem Peroxid, vorzugsweise Wasserstoffperoxid in Gegenwart von wässrigem Alkalimetallhydroxid, vorzugsweise Lithium-, Natrium- oder Kaliumhydroxid, 30 erhalten werden.

Zur Anknüpfung der Gruppen $PX^1((O)_aR^5)$ und $PX^1((O)_bR^6)$ werden die Ausgangsverbindungen der allgemeinen Formel II.2a vorteilhaft mit 35 einer Halogenverbindung der Formel $HalPX^1((O)_aR^5)$ und $HalPX^1((O)_bR^6)$ in Gegenwart einer Base umgesetzt. Hal steht hierbei vorzugsweise für Chlor oder Brom.

Die Verbindungen $HalPX^1((O)_aR^5)$ und $HalPX^1((O)_bR^6)$ können 40 beispielsweise in Analogie zur Methode von Petersen et al, J. Am. Chem. Soc. 117, 7696 (1995) durch Umsetzung der betreffenden substituierten und/oder anellierten Pyrrolverbindung mit dem betreffenden Phosphortrihalogenid, z. B. Phosphortrichlorid, in Gegenwart eines tertiären Amins, z. B. Triethylamin, erhalten werden, 45 wobei die Stöchiometrie dieser Umsetzung zu beachten ist.

In Analogie zu dieser Vorgehensweise können z. B. aus den betreffenden Hydroxyaryl-pyrrolyl-Verbindungen durch Umsetzung mit dem Phosphortrihalogenid in Gegenwart eines tertiären Amins die entsprechenden Ausgangsverbindungen $\text{HalPX}^1((\text{O})_a\text{R}^5)$ und $\text{HalPX}^1((\text{O})_b\text{R}^6)$ erhalten werden.

Durch stufenweise Synthese sind weitere Ausgangsverbindungen $\text{HalPX}^1((\text{O})_a\text{R}^5)$ und $\text{HalPX}^1((\text{O})_b\text{R}^6)$ erhältlich. So kann z. B. durch Umsetzung von Phenol mit Phosphortrichlorid in Gegenwart eines tertiären Amins, z. B. Triethylamin, das Phenoxyphosphordichlorid erzeugt werden, das nach Umsetzung mit einem Äquivalent der betreffenden Pyrrolverbindung, z. B. Pyrrol, in Gegenwart eines tertiären Amins, Phenoxy-pyrrolyl-phosphorchlorid ergibt.

Die Herstellung der 2,2'-Bisindol-Ausgangsverbindungen kann in Analogie zu Tetrahedron 51, 5637 (1995) und Tetrahedron 51, 12801 (1995) erfolgen, die Herstellung der Bis-2,2'-pyrrolyl-methane entsprechend den Angaben von J. Org. Chem. 64, 1391 (1999) und die Herstellung der 2'-Pyrrolyl-o-phenoxy-methane nach J. Org. Chem. 46, 5060 (1981).

Zur Herstellung der Phosphorchelatverbindungen der allgemeinen Formel II.6 aus den Verbindungen der allgemeinen Formel II.2a durch deren Umsetzung mit den Verbindungen $\text{HalPX}^1((\text{O})_a\text{R}^5)$ und $\text{HalPX}^1((\text{O})_b\text{R}^6)$ müssen die Verbindungen der allgemeinen Formel II.2a zunächst aktiviert werden.

Für Verbindungen der allgemeinen Formel II.2a mit $a, b = 0$ gelingt dies vorteilhaft durch Metallierung mittels einer Alkalimetallorganyl-Verbindung, vorzugsweise mit einer Alkyllithiumverbindung, wie n-Butyllithium, tert.-Butyllithium oder Methyl-lithium, wobei die Abgangsgruppe L in separater Umsetzung durch das betreffende Alkalimetallatom, vorzugsweise Lithium, ersetzt wird.

Nach Zugabe von $\text{HalPX}^1((\text{O})_a\text{R}^5)$ und $\text{HalPX}^1((\text{O})_b\text{R}^6)$ zu dieser metallierten Verbindung bilden sich die entsprechenden Phosphorchelatverbindungen der allgemeinen Formel I mit $a, b = 0$.

Für die Aktivierung der Verbindungen der allgemeinen Formel II.2a mit $a, b = 1$ ist in der Regel keine separate Aktivierung mit Alkalimetallorganyl-Verbindungen erforderlich. Im Allgemeinen führt die Umsetzung dieser Verbindungen mit den Verbindungen $\text{HalPX}^1((\text{O})_a\text{R}^5)$ und $\text{HalPX}^1((\text{O})_b\text{R}^6)$ in Gegenwart einer Base, vorzugsweise einem tertiären Amin, wie Triethylamin, oder einem Alkalimetall- oder Erdalkalimetallhydrid, beispielsweise Natriumhydrid, Kaliumhydrid oder Calciumhydrid, direkt zu den erfindungsgemäßen

Pnicogenchelatatverbindungen der allgemeinen Formel I mit $a, b = 0$.

Anstelle von Verbindungen der Formel II.2a (mit $a, b = 0$) mit $L =$ Halogen oder SO_3Me können auch solche Verbindungen mit $L =$ Wasserstoff lithiiert werden, in denen in der meta-Position von A^2 ($A^2 = O$ oder S) sich jeweils Wasserstoff, eine Alkoxygruppe oder Alkoxycarbonylgruppe befindet. Derartige Reaktionen sind unter dem Begriff "ortho-Lithiierung" in der Literatur beschrieben (siehe z. B. D. W. Slocum, J. Org. Chem., 41, 3652-3654 (1976); J. M. Mallan, R. L. Bebb, Chem. Rev., 1969, 693ff; V. Snieckus, Chem. Rev., 1980, 6, 879-933). Die dabei erhaltenen Organolithiumverbindungen können dann mit den Phosphorhalogenverbindungen in der oben angegebenen Weise zu den Chelatverbindungen der Formel I umgesetzt werden.

Im Allgemeinen werden unter Hydroformylierungsbedingungen aus den jeweils eingesetzten Katalysatoren oder Katalysatorvorstufen katalytisch aktive Spezies der allgemeinen Formel $H_gZ_d(CO)_eG_f$ gebildet, worin Z für ein Metall der VIII. Nebengruppe, G für einen phosphorhaltigen Liganden der Formel I und d, e, f, g für ganze Zahlen, abhängig von der Wertigkeit und Art des Metalls sowie der Bindigkeit des Liganden G , stehen. Vorzugsweise stehen e und f unabhängig voneinander mindestens für einen Wert von 1, wie z. B. 1, 2 oder 3. Die Summe aus e und f steht bevorzugt für einen Wert von 2 bis 5. Dabei können die Komplexe des Metalls Z mit den erfindungsgemäßen Liganden G gewünschtenfalls zusätzlich noch mindestens einen weiteren, nicht-erfindungsgemäßen Liganden, z.B. aus der Klasse der Triarylphosphine, insbesondere Triphenylphosphin, Triarylphosphite, Triarylphosphinite, Triarylphosphonate, Phosphabenzole, Trialkylphosphine oder Phosphametalloccene enthalten. Derlei Komplexe des Metalls Z mit erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Liganden bilden sich z.B. in einer Gleichgewichtsreaktion nach Zusatz eines nicht-erfindungsgemäßen Liganden zu einem Komplex der allgemeinen Formel $H_gZ_a(CO)_eG_f$.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform werden die Hydroformylierungskatalysatoren in situ, in dem für die Hydroformylierungsreaktion eingesetzten Reaktor, hergestellt. Gewünschtenfalls können die erfindungsgemäßen Katalysatoren jedoch auch separat hergestellt und nach üblichen Verfahren isoliert werden. Zur in situ-Herstellung der erfindungsgemäßen Katalysatoren kann man wenigstens eine Verbindung der allgemeinen Formel I, eine Verbindung oder einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe, gewünschtenfalls einen oder mehrere weitere zusätzliche, nicht-erfindungsgemäße Liganden und gegebenenfalls ein Aktivierungsmittel in einem inerten Lösungsmittel unter den Hydroformylierungs-

bedingungen umsetzen.

Geeignete Rhodiumverbindungen oder -komplexe sind z. B. Rhodium(II)- und Rhodium(III)-salze, wie Rhodium(III)-chlorid, Rhodium(III)-nitrat, Rhodium(III)-sulfat, Kalium-Rhodiumsulfat, Rhodium(II)- bzw. Rhodium(III)-carboxylat, Rhodium(II)- und Rhodium(III)-acetat, Rhodium(III)-oxid, Salze der Rhodium(III)-säure, Trisammoniumhexachlororhodat(III) etc. Weiterhin eignen sich Rhodiumkomplexe, wie Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, Acetylacetonatobisethylenrhodium(I) etc. Vorzugsweise werden Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat oder Rhodiumacetat eingesetzt.

Ebenfalls geeignet sind Rutheniumsalze oder -verbindungen. Geeignete Rutheniumsalze sind beispielsweise Ruthenium(III)chlorid, Ruthenium(IV)-, Ruthenium(VI)- oder Ruthenium(VIII)oxid, Alkalisalze der Rutheniumsauerstoffsäuren wie K_2RuO_4 oder $KRuO_4$ oder Komplexverbindungen, wie z. B. $RuHCl(CO)(PPh_3)_3$. Auch können die Metallcarbonyle des Rutheniums wie Trisrutheniumdodecacarbonyl oder Hexarutheniumoctadecacarbonyl, oder Mischformen, in denen CO teilweise durch Liganden der Formel PR_3 ersetzt sind, wie $Ru(CO)_3(PPh_3)_2$, im erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden.

Geeignete Kobaltverbindungen sind beispielsweise Kobalt(II)chlorid, Kobalt(II)sulfat, Kobalt(II)carbonat, Kobalt(II)nitrat, deren Amin- oder Hydratkomplexe, Kobaltcarboxylate, wie Kobaltacetat, Kobaltethylhexanoat, Kobaltnaphthenoat, sowie der Kobalt-Caprolactamat-Komplex. Auch hier können die Carbonylkomplexe des Kobalts wie Dikobaltoctacarbonyl, Tetrakobaltdodecacarbonyl und Hexakobalthexadecacarbonyl eingesetzt werden.

Die genannten und weitere geeignete Verbindungen des Kobalts, Rhodiums, Rutheniums und Iridiums sind bekannt, kommerziell erhältlich oder ihre Herstellung ist in der Literatur hinreichend beschrieben oder sie können vom Fachmann analog zu den bereits bekannten Verbindungen hergestellt werden.

Geeignete Aktivierungsmittel sind z. B. Brönsted-Säuren, Lewis-Säuren, wie z. B. BF_3 , $AlCl_3$, $ZnCl_2$, und Lewis-Basen.

Als Lösungsmittel werden vorzugsweise die Aldehyde eingesetzt, die bei der Hydroformylierung der jeweiligen Olefine entstehen, sowie deren höher siedende Folgereaktionsprodukte, z. B. die Produkte der Aldolkondensation. Ebenfalls geeignete Lösungsmittel sind Aromaten, wie Toluol und Xylole, Kohlenwasserstoffe oder Gemische von Kohlenwasserstoffen, auch zum Verdünnen der oben genannten Aldehyde und der Folgeprodukte der Aldehyde. Weitere Lösungsmittel sind Ester aliphatischer Carbonsäuren mit Alkano-

- len, beispielsweise Essigester oder Texanol®, Ether wie tert.-Butylmethylether und Tetrahydrofuran. Bei ausreichend hydrophili-
- sierten Liganden können auch Alkohole, wie Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol, Isobutanol, Ketone, wie Ace-
- 5 ton und Methylethylketon etc., eingesetzt werden. Ferner können als Lösungsmittel auch sogenannte "Ionische Flüssigkeiten" verwendet werden. Hierbei handelt es sich um flüssige Salze, beispielsweise um N,N'-Di-alkylimidazoliumsalze wie die N-Butyl-N'-methylimidazoliumsalze, Tetraalkylammoniumsalze wie die Tetra-
- 10 n-butylammoniumsalze, N-Alkylpyridiniumsalze wie die N-Butylpyridiniumsalze, Tetraalkylphosphoniumsalze wie die Trishexyl(tetra-
decyl)phosphoniumsalze, z.B. die Tetrafluoroborate, Acetate, Tetrachloroaluminate, Hexafluorophosphate, Chloride und Tosylate.
- 15 Weiterhin ist es möglich die Umsetzungen auch in Wasser oder wässrigen Lösungsmittelsystemen, die neben Wasser ein mit Wasser mischbares Lösungsmittel, beispielsweise einen Alkohol wie Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol, Isobutanol, ein Keton wie Aceton und Methylethylketon oder ein anderes Lösungs-
- 20 mittel enthalten. Zu diesem Zweck setzt man Liganden der Formel I ein, die mit polaren Gruppen, beispielsweise ionischen Gruppen wie SO_3M , CO_2M mit $\text{M} = \text{Na}$, K oder NH_4 oder wie $\text{N}(\text{CH}_3)_4^+$ modifiziert sind. Die Umsetzungen erfolgen dann im Sinne einer Zweiphasenkatalyse, wobei der Katalysator sich in der wässrigen Phase befindet und Einsatzstoffe und Produkte die organische Phase bilden.
- 25 Auch die Umsetzung in den "Ionischen Flüssigkeiten" kann als Zweiphasenkatalyse ausgestaltet sein.

- Das Molmengenverhältnis von Verbindung I zum Metall der VIII. Nebengruppe im Hydroformylierungsmedium liegt im Allgemeinen in einem Bereich von etwa 1:1 bis 1000:1, vorzugsweise von 1:1 bis 100:1, insbesondere von 1:1 bis 50:1.
- 30

- Die Hydroformylierungsreaktion kann kontinuierlich, semikontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen.
- 35

- Geeignete Reaktoren für die kontinuierliche Umsetzung sind dem Fachmann bekannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1, 3. Aufl., 1951, S. 743 ff. beschrieben.
- 40

- Geeignete druckfeste Reaktoren sind dem Fachmann ebenfalls bekannt und werden z. B. in Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1, 3. Auflage, 1951, S. 769 ff. beschrieben. Im Allgemeinen wird für das erfindungsgemäße Verfahren ein Autoklav verwendet, der gewünschtenfalls mit einer Rührvorrichtung und
- 45

einer Innenauskleidung versehen sein kann.

Die Zusammensetzung des im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzten Synthesegases aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff kann in weiten Bereichen variieren. Das molare Verhältnis von Kohlenmonoxid und Wasserstoff beträgt in der Regel etwa 1:99 bis 80:20, bevorzugt etwa 40:60 bis 60:40. Insbesondere bevorzugt wird ein molares Verhältnis von Kohlenmonoxid und Wasserstoff im Bereich von etwa 1:1 eingesetzt.

10

Die Temperatur bei der Hydroformylierungsreaktion liegt im Allgemeinen in einem Bereich von etwa 20 bis 180 °C, bevorzugt etwa 50 bis 150°C. Die Reaktion wird in der Regel bei dem Partialdruck des Reaktionsgases bei der gewählten Reaktionstemperatur durchge-

15 führt. Im Allgemeinen liegt der Druck in einem Bereich von etwa 1 bis 700 bar, bevorzugt 1 bis 600 bar, insbesondere 1 bis 300 bar. Der Reaktionsdruck kann in Abhängigkeit von der Aktivität des eingesetzten erfindungsgemäßen Hydroformylierungskatalysators variiert werden. Im Allgemeinen erlauben die erfindungsgemäßen Katalysatoren auf Basis von phosphorhaltigen Verbindungen eine Um-

20 setzung in einem Bereich niedriger Drücke, wie etwa im Bereich von 1 bis 100 bar.

Die erfindungsgemäß eingesetzten und die erfindungsgemäßen Hydroformylierungskatalysatoren lassen sich nach üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren vom Austrag der Hydroformylierungsreaktion abtrennen und können im Allgemeinen erneut für die Hydroformylierung eingesetzt werden.

30 b) Auftrennung

Nach einer geeigneten Verfahrensvariante wird die in Schritt a) nach Abtrennung des Katalysatorsystems erhaltene produktangereicherte Fraktion einer weiteren Auftrennung zum Erhalt einer an n-Valeraldehyd angereicherten Fraktion unterzogen. Die Auftrennung des Hydroformylierungsprodukts in eine n-Valeraldehyd angereicherte Fraktion und eine n-Valeraldehyd abgereicherte Fraktion erfolgt nach üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren. Bevorzugt ist die Destillation unter Einsatz bekannter Trennapparaturen, wie Destillationskolonnen, z. B. Bodenkolonnen, die gewünschtenfalls mit Glocken, Siebplatten, Siebböden, Ventilen etc. ausgerüstet sein können, Verdampfer, wie Dünnschichtverdampfer, Fallfilmverdampfer, Wischblattverdampfer etc.

c) Aldolkondensation

Zwei Moleküle C₅-Aldehyd können zu α,β -ungesättigten C₁₀-Aldehyden kondensiert werden. Die Aldolkondensation erfolgt auf an sich bekannte Weise z. B. durch Einwirkung einer wässrigen Base, wie Natronlauge oder Kalilauge. Alternativ kann auch ein heterogener basischer Katalysator, wie Magnesium- und/oder Aluminiumoxid, verwendet werden (vgl. z. B. die EP-A 792 862). Dabei resultiert bei der Kondensation von zwei Molekülen n-Valeraldehyd 2-Propyl-2-heptenal. Sofern das in Schritt a) bzw. nach der Auftrennung in Schritt b) erhaltene Hydroformylierungsprodukt noch weitere C₅-Aldehyde, wie 2-Methylbutanal und gegebenenfalls 2,2-Dimethylpropanal aufweist, so untergehen diese ebenfalls eine Aldolkondensation, wobei dann die Kondensationsprodukte aller möglichen Aldehydkombinationen resultieren, beispielsweise 2-Propyl-4-methyl-2-hexenal. Ein Anteil dieser Kondensationsprodukte, z. B. von bis zu 30 Gew.-%, steht einer vorteilhaften Weiterverarbeitung zu als Weichmacheralkoholen geeigneten 2-Propylheptanol-haltigen C₁₀-Alkoholgemischen nicht entgegen.

20

d) Hydrierung

Die Produkte der Aldolkondensation können mit Wasserstoff katalytisch zu C₁₀-Alkoholen, wie insbesondere 2-Propylheptanol, hydriert werden.

25

Für die Hydrierung der C₁₀-Aldehyde zu den C₁₀-Alkoholen sind prinzipiell auch die Katalysatoren der Hydroformylierung zumeist bei höherer Temperatur geeignet; im Allgemeinen werden jedoch selektivere Hydrierkatalysatoren vorgezogen, die in einer separaten Hydrierstufe eingesetzt werden. Geeignete Hydrierkatalysatoren sind im Allgemeinen Übergangsmetalle, wie z. B. Cr, Mo, W, Fe, Rh, Co, Ni, Pd, Pt, Ru usw. oder deren Mischungen, die zur Erhöhung der Aktivität und Stabilität auf Trägern, wie z. B. Aktivkohle, Aluminiumoxid, Kieselgur usw. aufgebracht werden können. Zur Erhöhung der katalytischen Aktivität können Fe, Co und bevorzugt Ni, auch in Form der Raney-Katalysatoren, als Metallschwamm mit einer sehr großen Oberfläche verwendet werden. Die Hydrierung der C₁₀-Aldehyde erfolgt in Abhängigkeit von der Aktivität des Katalysators, vorzugsweise bei erhöhten Temperaturen und erhöhtem Druck. Vorzugsweise liegt die Hydriertemperatur bei etwa 80 bis 250 °C, bevorzugt liegt der Druck bei etwa 50 bis 350 bar.

35

40

Das rohe Hydrierungsprodukt kann nach üblichen Verfahren, z. B. durch Destillation, zu den C₁₀-Alkoholen aufgearbeitet werden.

45

e) Auftrennung

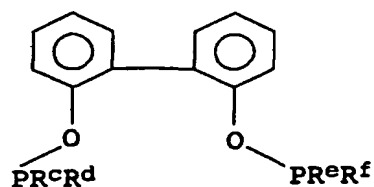
Gewünschtenfalls können die Hydrierprodukte einer weiteren Auftrennung unter Erhalt einer an 2-Propylheptanol angereicherten 5 Fraktion und einer an 2-Propylheptanol abgereicherten Fraktion unterzogen werden. Diese Auftrennung kann nach üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren, wie z. B. durch Destillation, erfolgen.

10. Hydroformylierungskatalysatoren, die einen Komplex wenigstens eines Metalls der VIII. Nebengruppe des Periodensystems aufweisen, der als Liganden mindestens eine Pyrrolphosphorverbindung der allgemeinen Formel I mit substituiertem und/oder anelliertem Pyrrolgerüst aufweist, eignen sich in vorteilhafter Weise für den 15 Einsatz in einem Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol. Dabei weisen die Katalysatoren eine hohe n-Selektivität auf, so dass sowohl beim Einsatz von im Wesentlichen reinem 1-Buten als auch beim Einsatz von 1-Buten/2-Buten-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen, wie beispielsweise C₄-Schnitten eine gute Ausbeute an 20 n-Valeraldehyd erhalten wird. Des Weiteren eignen sich die erfindungsgemäß eingesetzten Katalysatoren auch zur Doppelbindungsisomerisierung von einer innenständigen auf eine endständige Position, so dass auch beim Einsatz von 2-Buten und höhere Konzentrationen an 2-Buten-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen n-Valeraldehyd in guten Ausbeuten erhalten wird. Vorteilhafterweise zeigen 25 die erfindungsgemäß eingesetzten Katalysatoren auf Basis von substituierten bzw. anellierten Pyrrolgerüsten im Wesentlichen keine Zersetzung unter den Hydroformylierungsbedingungen, d. h. in Anwesenheit von Aldehyden. Vorteilhafterweise werden auch in Gegenwart von Luftsauerstoff und/oder Licht und/oder Säuren und/oder 30 bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen, wie bis zu etwa 150 °C, im Wesentlichen keine Zersetzungsprodukte gebildet, so dass auf den Einsatz aufwendiger Maßnahmen zur Stabilisierung des eingesetzten Hydroformylierungskatalysators, insbesondere bei der 35 Aufarbeitung, verzichtet werden kann.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung sind Katalysatoren, umfassend Komplexe mit einem Metall der VIII. Nebengruppe des Periodensystems der Elemente, die als Liganden mindestens eine Verbindung der Formel I, wie zuvor beschrieben, enthalten, ausgenommen 40 Verbindungen der Formel

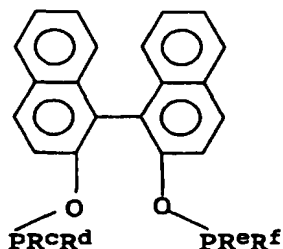
61

5

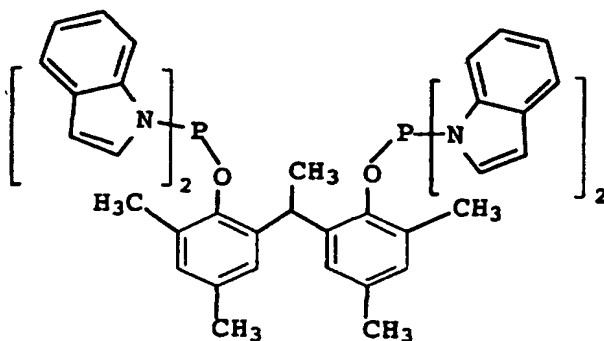
a: $R^c, R^d, R^e, R^f = (1\text{-Indolyl})$ 10 b: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (O\text{-Phenyl})$ c: $R^c, R^d, R^e, R^f = (1\text{-Carbazolyl})$ d: $R^c, R^d, R^e, R^f = (3,4,5,6\text{-Tetrahydrocarbazol-1-yl})$ e: $R^c, R^d, R^e, R^f = (Isoindol-1-yl);$

15

20

a: $R^c, R^d, R^e, R^f = (1\text{-Indolyl})$ 25 b: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = \text{Phenyl}$ c: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (1\text{-Pyrrolyl})$ d: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (O\text{-(2-Isopropyl-5-methyl-phenyl)})$ e: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (O\text{-Phenyl})$ 30 f: $R^c, R^e = (1\text{-Carbazolyl}); R^d, R^f = (O\text{-Phenyl});$

35

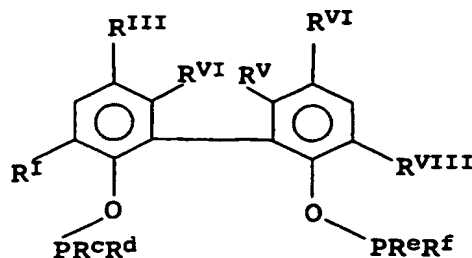


40

45

62

5



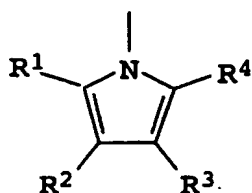
worin

10

R^I , R^{III} , R^{IV} , R^V , R^{VI} und R^{VIII} für von Wasserstoff verschiedene Substituenten stehen und

R^c , R^d , R^e und R^f für Gruppen der Formel

15

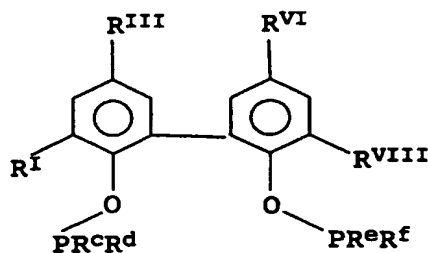


20

stehen, worin R^1 , R^2 , R^3 und R^4 die in Anspruch 1 angegebenen Bedeutungen besitzen;

25

30



35

worin

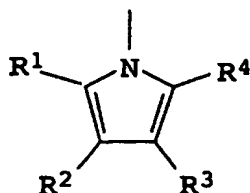
R^I , R^{III} , R^{VI} und R^{VIII} für von Wasserstoff verschiedene Substituenten stehen und

40

R^c , R^d , R^e und R^f für Gruppen der Formel

45

63



5

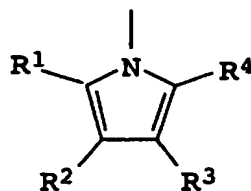
stehen, worin R¹, R², R³ und R⁴ die in Anspruch 1 angegebenen Bedeutungen besitzen.

10

Bezüglich geeigneter und bevorzugter Liganden der Formel I wird auf die diesbezüglichen Ausführungen unter Verfahrensschritt a) in vollem Umfang Bezug genommen.

15 Bevorzugt sind Katalysatoren, umfassend Komplexe mit einem Metall der VIII. Nebengruppe des Periodensystems, die als Liganden mindestens eine Verbindung der Formel I, wie zuvor definiert, aufweisen, in denen in wenigstens einer der Gruppen der Formel

20



25

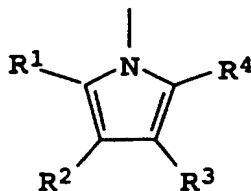
die Reste R³ und R⁴ unabhängig voneinander ausgewählt sind unter C₁-C₄-Alkylresten, insbesondere unter Methyl, Ethyl, Isopropyl und tert.-Butyl.

30

Vorzugsweise weisen diese Katalysatoren 2, 3 oder 4 dieser Gruppen auf.

Besonders bevorzugt sind Katalysatoren, umfassend Komplexe mit
35 einem Metall der VIII. Nebengruppe des Periodensystems, die als Liganden mindestens eine Verbindung der Formel I, wie zuvor definiert, aufweisen, in denen wenigstens eine der Gruppen der Formel

40



45

für 3-Alkylindol-1-yl, insbesondere für 3-Methylindol-1-yl, steht.

Vorzugsweise weisen diese Katalysatoren 2, 3 oder 4 2,3-Dial-
5 kylindol-1-ylgruppen, wie 2,3-Dimethylindol-1-ylgruppen auf.

Vorzugsweise weisen diese Katalysatoren 2, 3 oder 4 3-Alkylin-
dol-1-ylgruppen, wie 3-Methylindol-1-ylgruppen (1-Skatolylgrup-
pen), auf.

10

Katalysatoren auf Basis von 3-Alkylindol-1-ylgruppen zeichnen sich durch eine besondere Stabilität aus.

Vorzugsweise ist das Metall der VIII. Nebengruppe ausgewählt un-
15 ter Kobalt, Rhodium, Ruthenium oder Iridium.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren eignen sich ganz allgemein in
Verfahren zur Hydroformylierung von Verbindungen, die wenigstens
eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, durch Um-
20 setzung mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff.

Vorteilhafterweise wird bei einem Einsatz von Phosphorverbindun-
gen, bei denen substituierte und/oder in ein anelliertes Ringsy-
stem integrierte Pyrrolgruppen über ihr pyrrolisches Stickstoffa-
25 tom kovalent mit dem Phosphoratom verknüpft sind, als Liganden in
Hydroformylierungskatalysatoren eine Zersetzung bzw. die Bildung
unerwünschter Nebenprodukte vermieden. Dies betrifft insbesondere
die bei Katalysatoren auf Basis von unsubstituierten Pyrrolgrup-
pen zum Teil beobachtete Zersetzung an Licht bzw. bei Temperatu-
30 ren im Bereich der Raumtemperatur. Auch unter den Hydroformylie-
rungsbedingungen und bei der Aufarbeitung der Reaktionsprodukte
zeichnen sich Katalysatoren auf Basis von Liganden, die substi-
tuierte und/oder in ein anelliertes Ringsystem integrierte Pyr-
rolgruppen aufweisen, durch eine höhere Stabilität gegenüber Ka-
35 talysatoren auf Basis von Liganden, die unsubstituierte Pyrrol-
gruppen aufweisen, aus.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur
Hydroformylierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethyle-
40 nisch ungesättigte Doppelbindung enthalten durch Umsetzung mit
Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Gegenwart eines Hydroformylie-
rungskatalysators, umfassend wenigstens einen Komplex eines Me-
talls der VIII. Nebengruppe mit wenigstens einem Liganden der
allgemeinen Formel I, wie zuvor definiert.

45

Bezüglich geeigneter und bevorzugter Bedingungen der Hydroformylierung und speziell der eingesetzten Liganden der Formel I wird auf das zuvor zu Schritt a) Gesagte Bezug genommen.

- 5 Als Substrate für das erfindungsgemäße Hydroformylierungsverfahren kommen prinzipiell alle Verbindungen in Betracht, welche eine oder mehrere ethylenisch ungesättigte Doppelbindungen enthalten. Dazu zählen z. B. Olefine, wie α -Olefine, interne geradkettige und interne verzweigte Olefine. Geeignete α -Olefine sind z. B.
- 10 Propen, 1-Buten, Isobuten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen, 1-Nonen, 1-Decen, 1-Undecen, 1-Dodecen, Allylalkohole etc.

Geeignete verzweigte, interne Olefine sind vorzugsweise C_4 - bis C_{20} -Olefine, wie 2-Methyl-2-Buten, 2-Methyl-2-Penten, 3-Methyl-2-Penten, verzweigte, interne Hepten-Gemische, verzweigte, interne Octen-Gemische, verzweigte, interne Nonen-Gemische, verzweigte, interne Decen-Gemische, verzweigte, interne Undecen-Gemische, verzweigte, interne Dodecen-Gemische etc.

- 20 Geeignete zu hydroformylierende Olefine sind weiterhin C_5 - bis C_8 -Cycloalkene, wie Cyclopenten, Cyclohexen, Cyclohepten, Cycloocten und deren Derivate, wie z. B. deren C_1 - bis C_{20} -Alkylderivate mit 1 bis 5 Alkylsubstituenten. Geeignete zu hydroformylierende Olefine sind weiterhin Vinylaromaten, wie Styrol, α -Methylstyrol, 4-Isobutylstyrol etc. Geeignete zu hydroformylierende Olefine
- 25 sind weiterhin α,β -ethylenisch ungesättigte Mono- und/oder Dicarbonsäuren, deren Ester, Halbester und Amide, wie Acrylsäure, Methacrylsäure, Maleinsäure, Fumarsäure, Crotonsäure, Itaconsäure, 3-Pentensäuremethylester, 4-Pentensäuremethylester, Ölsäuremethylester, Acrylsäuremethylester, Methacrylsäuremethylester,
- 30 ungesättigte Nitrile, wie 3-Pentennitril, 4-Pentennitril, Acrylnitril, Vinylether, wie Vinylmethylether, Vinylethylether, Vinylpropylether etc., C_1 - bis C_{20} -Alkenole, -Alkendirole und -Alkadienole, wie 2,7-Octadienol-1. Geeignete Substrate sind weiterhin
- 35 Di- oder Polyene mit isolierten oder konjugierten Doppelbindungen. Dazu zählen z. B. 1,3-Butadien, 1,4-Pentadien, 1,5-Hexadien, 1,6-Heptadien, 1,7-Octadien, Vinylcyclohexen, Dicyclopentadien, 1,5,9-Cyclooctatrien sowie Butadienhomo- und -copolymere.

- 40 Bevorzugt ist die zur Hydroformylierung eingesetzte ungesättigte Verbindung ausgewählt unter internen linearen Olefinen und Olefingemischen, die wenigstens ein internes lineares Olefin enthalten. Geeignete lineare (geradkettige) interne Olefine sind vorzugsweise C_4 - bis C_{20} -Olefine, wie 2-Buten, 2-Penten, 2-Hexen,
- 45 3-Hexen, 2-Hepten, 3-Hepten, 2-Octen, 3-Octen, 4-Octen etc. und Mischungen davon.

- Vorzugsweise wird in dem erfindungsgemäßen Hydroformylierungsverfahren ein großtechnisch zugängliches Olefingemisch eingesetzt, das insbesondere wenigstens ein internes lineares Olefin enthält. Dazu zählen z. B. die durch gezielte Ethen-Oligomerisierung in
- 5 Gegenwart von Alkylaluminiumkatalysatoren erhaltenen Ziegler-Olefine. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um unverzweigte Olefine mit endständiger Doppelbindung und gerader Kohlenstoffatomanzahl. Dazu zählen weiterhin die durch Ethen-Oligomerisierung in Gegenwart verschiedener Katalysatorsysteme erhaltenen Olefine,
- 10 z. B. die in Gegenwart von Alkylaluminiumchlorid/Titantetrachlorid-Katalysatoren erhaltenen, überwiegend linearen α -Olefine und die in Gegenwart von Nickel-Phosphinkomplex-Katalysatoren nach dem Shell Higher Olefin Process (SHOP) erhaltenen α -Olefine. Geeignete technisch zugängliche Olefingemische werden weiterhin bei
- 15 der Paraffin-Dehydrierung entsprechender Erdölfraktionen, z. B. der sog. Petroleum- oder Dieselölfraktionen, erhalten. Zur Überführung von Paraffinen, vorwiegend von n-Paraffinen in Olefine, werden im Wesentlichen drei Verfahren eingesetzt:
- 20 - thermisches Cracken (Steamcracken),
 - katalytisches Dehydrieren und
 - chemisches Dehydrieren durch Chlorieren und Dehydrochlorieren.
- 25 Dabei führt das thermische Cracken überwiegend zu α -Olefinen, während die anderen Varianten Olefingemische ergeben, die im Allgemeinen auch größere Anteile an Olefinen mit innenständiger Doppelbindung aufweisen. Geeignete Olefingemische sind weiterhin die bei Metathese- bzw. Telomerisationsreaktionen erhaltenen Olefine.
- 30 Dazu zählen z. B. die Olefine aus dem Phillips-Triolefin-Prozess, einem modifizierten SHOP-Prozess aus Ethylen-Oligomerisierung, Doppelbindungs-Isomerisierung und anschließender Metathese (Ethenolyse).
- 35 Geeignete in dem erfindungsgemäßen Hydroformylierungsverfahren einsetzbare technische Olefingemische sind weiterhin ausgewählt unter Dibutenen, Tributenen, Tetrautenen, Dipropenen, Tripropenen, Tetrapropenen, Mischungen von Butenisomeren, insbesondere Raffinat II, Dihexenen, Dimeren und Oligomeren aus dem
- 40 Dimersol®-Prozess von IFP, Octolprozess® von Hüls, Polygas®-prozess etc.

Bevorzugt ist ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Hydroformylierungskatalysator in situ hergestellt wird, wobei

45 man mindestens eine Verbindung der Formel I, eine Verbindung oder einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe und gegebenenfalls ein Aktivierungsmittel in einem inerten Lösungsmittel unter

den Hydroformylierungsbedingungen zur Reaktion bringt.

Die zuvor beschriebenen, erfindungsgemäßen Katalysatoren, die chirale Verbindungen der allgemeinen Formel I umfassen, eignen
5 sich zur enantioselektiven Hydroformylierung.

Die zuvor beschriebenen Katalysatoren können auch in geeigneter Weise, z. B. durch Anbindung über als Ankergruppen geeignete funktionelle Gruppen, Adsorption, Pfropfung, etc. an einen geei-
10 gneten Träger, z. B. aus Glas, Kieselgel, Kunstharzen etc., immobilisiert werden. Sie eignen sich dann auch für einen Einsatz als Festphasenkatalysatoren.

Überraschenderweise haben die aus den erfindungsgemäßen Verbindungen der allgemeinen Formel I hergestellten Katalysatoren nicht
15 nur eine hohe Aktivität bezüglich der Hydroformylierung endständiger Olefine, sondern ebenfalls bezüglich der isomerisierenden Hydroformylierung von Olefinen mit internen Doppelbindungen zu Aldehydprodukten mit hoher Linearität. Vorteilhafterweise findet
20 unter den Bedingungen der Hydroformylierung mit den erfindungsgemäßen Katalysatoren eine Hydrierung der Olefine nur in sehr geringem Ausmaß statt.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist die Verwendung von Katalysatoren, umfassend wenigstens einen Komplex eines Metalls der
25 VIII. Nebengruppe mit wenigstens einer Verbindung der allgemeinen Formel I, wie zuvor beschrieben, zur Hydroformylierung, Hydrocyanierung, Carbonylierung und zur Hydrierung.

Wie erwähnt stellt die Hydrocyanierung von Olefinen ein weiteres Einsatzgebiet für die erfindungsgemäßen Katalysatoren dar. Auch die erfindungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysatoren umfassen Komplexe eines Metalls der VIII. Nebengruppe, insbesondere Cobalt, Nickel, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Platin, bevorzugt Nickel,
30 Palladium und Platin und ganz besonders bevorzugt Nickel. In der Regel liegt das Metall im erfindungsgemäßen Metallkomplex nullwertig vor. Die Herstellung der Metallkomplexe kann, wie bereits für den Einsatz als Hydroformylierungskatalysatoren zuvor beschrieben, erfolgen. Gleiches gilt für die in situ-Herstellung
40 der erfindungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysatoren.

Ein zur Herstellung eines Hydrocyanierungskatalysators geeigneter Nickelkomplex ist z. B. Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0).

45 Gegebenenfalls können die Hydrocyanierungskatalysatoren, analog zu dem bei den Hydroformylierungskatalysatoren beschriebenen Ver-

fahren, in situ hergestellt werden.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur Herstellung von Nitrilen durch katalytische Hydrocyanierung, in dem die Hydrocyanierung in Gegenwart mindestens eines der zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Katalysatoren erfolgt. Geeignete Olefine für die Hydrocyanierung sind allgemein die zuvor als Einsatzstoffe für die Hydroformylierung genannten Olefine. Eine spezielle Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens betrifft die Herstellung von Gemischen monoolefinischer C₅-Mononitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung durch katalytische Hydrocyanierung von 1,3-Butadien oder 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen und die Isomerisierung/Weiterreaktion zu gesättigten C₄-Dinitrilen, vorzugsweise Adipodinitril in Gegenwart mindestens eines erfindungsgemäßen Katalysators. Bei der Verwendung von Kohlenwasserstoffgemischen zur Herstellung von monoolefinischer C₅-Mononitrilen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird vorzugsweise ein Kohlenwasserstoffgemisch eingesetzt, das einen 1,3-Butadiengehalt von mindestens 10 Vol.-%, bevorzugt mindestens 25 Vol.-%, insbesondere mindestens 40 Vol.-%, aufweist.

1,3-Butadien-haltige Kohlenwasserstoffgemische sind in großtechnischem Maßstab erhältlich. So fällt z. B. bei der Aufarbeitung von Erdöl durch Steamcracken von Naphtha ein als C₄-Schnitt bezeichnetes Kohlenwasserstoffgemisch mit einem hohen Gesamtolefinanteil an, wobei etwa 40 % auf 1,3-Butadien und der Rest auf Monoolefine und mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe sowie Alkane entfällt. Diese Ströme enthalten immer auch geringe Anteile von im Allgemeinen bis zu 5 % an Alkinen, 1,2-Dienen und Vinylacetylen.

Reines 1,3-Butadien kann z. B. durch extraktive Destillation aus technisch erhältlichen Kohlenwasserstoffgemischen isoliert werden.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren lassen sich vorteilhaft zur Hydrocyanierung solcher olefinhaltiger, insbesondere 1,3-Butadien-haltiger Kohlenwasserstoffgemische einsetzen, in der Regel auch ohne vorherige destillative Aufreinigung des Kohlenwasserstoffgemischs. Möglicherweise enthaltene, die Effektivität der Katalysatoren beeinträchtigende Olefine, wie z. B. Alkine oder Cumulene, können gegebenenfalls vor der Hydrocyanierung durch selektive Hydrierung aus dem Kohlenwasserstoffgemisch entfernt werden. Geeignete Verfahren zur selektiven Hydrierung sind dem Fachmann bekannt.

Die erfindungsgemäße Hydrocyanierung kann kontinuierlich, semi-kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen. Geeignete Reaktoren für die kontinuierliche Umsetzung sind dem Fachmann bekannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 5 Band 1, 3. Auflage, 1951, S. 743 ff. beschrieben. Vorzugsweise wird für die kontinuierliche Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Rührkesselkaskade oder ein Rohrreaktor verwendet. Geeignete, gegebenenfalls druckfeste Reaktoren für die semikontinuierliche oder kontinuierliche Ausführung sind dem Fachmann be- 10 kannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 1, 3. Auflage, 1951, S. 769 ff. beschrieben. Im Allgemeinen wird für das erfindungsgemäße Verfahren ein Autoklav verwendet, der gewünschtenfalls mit einer Rührvorrichtung und einer Innenauskleidung versehen sein kann.

15 Die erfindungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysatoren lassen sich nach üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren vom Austrag der Hydrocyanierungsreaktion abtrennen und können im Allgemeinen erneut für die Hydrocyanierung eingesetzt werden.

20 Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Carbonylierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, durch Umsetzung mit Kohlenmonoxid und wenigstens einer Verbindung mit einer nucleophilen 25 Gruppe in Gegenwart eines Carbonylierungskatalysators, in dem man als Carbonylierungskatalysator einen Katalysator auf Basis eines Liganden der allgemeinen Formel I einsetzt.

Auch die erfindungsgemäßen Carbonylierungskatalysatoren umfassen 30 Komplexe eines Metalls der VIII. Nebengruppe, bevorzugt Nickel, Cobalt, Eisen, Ruthenium, Rhodium und Palladium, insbesondere Palladium. Die Herstellung der Metallkomplexe kann wie bereits zuvor bei den Hydroformylierungskatalysatoren und Hydrocyanierungskatalysatoren beschrieben erfolgen. Gleiches gilt für die in 35 situ-Herstellung der erfindungsgemäßen Carbonylierungskatalysatoren.

Geeignete Olefine für die Carbonylierung sind die allgemein zuvor als Einsatzstoffe für die Hydroformylierung und Hydrocyanierung 40 genannten Olefine.

Vorzugsweise sind die Verbindungen mit einer nucleophilen Gruppe, ausgewählt unter Wasser, Alkoholen, Thiolen, Carbonsäureestern, primären und sekundären Aminen.

45 Eine bevorzugte Carbonylierungsreaktion ist die Überführung von Olefinen mit Kohlenmonoxid und Wasser zu Carbonsäuren (Hydrocar-

boxylierung). Dazu zählt insbesondere die Umsetzung von Ethylen mit Kohlenmonoxid und Wasser zu Propionsäure.

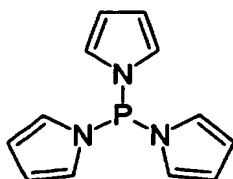
Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist die Verwendung von Katalysatoren, umfassend eine erfindungsgemäße P-haltige Verbindung, wie zuvor beschrieben, zur Hydroformylierung, Hydrocyanierung, Carbonylierung, Hydrierung, Olefinoligomerisierung und -polymerisierung und zur Metathese.

- 10 Die Erfindung wird anhand der folgenden, nicht einschränkenden Beispiele näher erläutert.

Es wurden die folgenden Liganden eingesetzt:

15 Vergleichsbeispiel 1

Lagerung von Vergleichsligand A bei Raumtemperatur



Vergleichsligand A

Vergleichsligand A wurde gemäß K.G. Moloy et al., J. Am. Chem. Soc. 117, S. 7696-7710 (1995) hergestellt. Die Synthese führt zu
30 sauberem Produkt mit einer ^{31}P -NMR-Verschiebung von +79 ppm (C_6D_6). Nach Lagerung der Verbindung unter Argon für 5 Tage bei Raumtemperatur konnte eine merkliche Dunkelfärbung festgestellt werden. Nach acht Wochen bildete sich eine teerartige Verbindung, die in der Katalyse nicht mehr eingesetzt werden konnte.

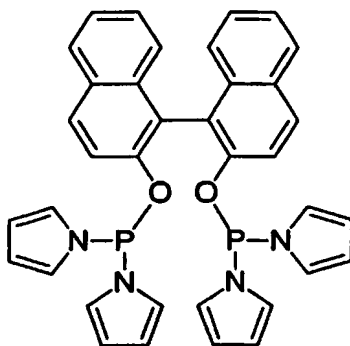
35

Hydroformylierung von 2-Octen mit Vergleichsligand A

0,9 mg $\text{Rh}(\text{CO})_2\text{acac}$ und 8 mg Vergleichsligand A (60 ppm Rh, Ligand/Rhodium = 10/1) wurden separat eingewogen, in je 1,5 g Xylol gelöst, vermischt und bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) begast. Nach 30 min wurde entspannt, dann wurden 3,0 g 2-Octen zugegeben und 4 h bei 100 °C und 10 bar hydroformyliert. Die Umsatz betrug 74 %, die Aldehydselektivität 44 % und die Linearität 51 %. Der α -Anteil (n-Nonanal + iso-Nonanal) betrug
45 85 %.

Vergleichsbeispiel 2

Lagerung von Vergleichsligand B bei Raumtemperatur



Vergleichsligand B

Vergleichsligand B wurde gemäß US 5,710,344 hergestellt. Die Synthese führt zu sauberem Produkt mit einer ^{31}P -NMR-Verschiebung von +69 ppm (C_6D_6). Nach Lagerung der Verbindung unter Argon für 10 Tage bei Raumtemperatur konnte eine merkliche Dunkelfärbung festgestellt werden. Eine ^{31}P -NMR-Untersuchung zeigte einen Ligandabbau von 20 %.

Hydroformylierung von 1-Octen vor Lagerung bei Raumtemperatur

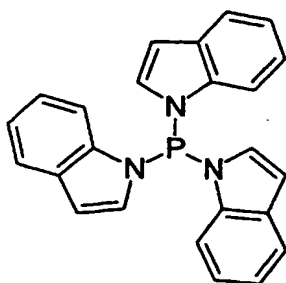
1,6 mg $\text{Rh}(\text{CO})_2\text{acac}$ (Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat) und 36,9 mg Vergleichsligand B (106 ppm Rh, Verhältnis Ligand : Metall = 10:1) wurden separat eingewogen, in je 1,5 g Palatinol-AH® (Phthalsäureester von 2-Ethylhexanol der BASF Aktienges.) gelöst, vermischt und in einem 100 ml-Autoklaven bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) begast. Nach 30 min. wurde entspannt, dann wurden 3 g 1-Octen zugegeben und 4 h bei 100 °C und 10 bar hydroformyliert. Der Umsatz betrug 98 %, die Aldehydselektivität 59 % und die Linearität 99 %. Die Selektivität zu internen Octenen betrug 41 %.

Hydroformylierung von 1-Octen nach Lagerung bei Raumtemperatur

1,6 mg $\text{Rh}(\text{CO})_2\text{acac}$ und 36,9 mg Vergleichsligand B (106 ppm Rh, Verhältnis Ligand : Metall = 10:1) wurden separat eingewogen, in je 1,5 g Palatinol-AH® gelöst, vermischt und bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) begast. Nach 30 min. wurde entspannt, dann wurden 3 g 1-Octen mit der Spritze zugegeben und 4 h bei 100 °C und 10 bar hydroformyliert. Der Umsatz betrug 20 %, die Aldehydselektivität 5 % und die Linearität 71 %. Die Selektivität zu internen Octenen betrug 95 %.

Beispiel 1

Lagerung von Ligand C bei Raumtemperatur

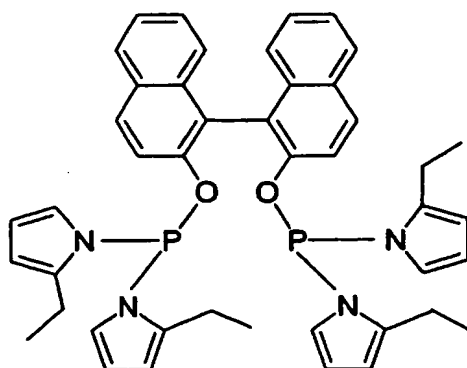


Ligand C

Ligand C wurde analog K.G. Moloy et al., J. Am. Chem. Soc. 117, S. 7696-7710 (1995) hergestellt. Die Synthese führt zu sauberem Produkt mit einer ^{31}P -NMR-Verschiebung von +67 ppm (C_6D_6). Nach Lagerung der Verbindung unter Argon für 3 Monate bei Raumtemperatur konnte keine Dunkelfärbung festgestellt werden. Weder Erhitzen noch Behandlung mit Wasser führte zu einer stofflichen Veränderung.

Beispiel 2

Synthese von Ligand D



Ligand D

8,2 g (60 mmol) PCl_3 wurden bei -70°C unter Argon in Tetrahydrofuran vorgelegt. Anschließend wurden unter Rühren 11,7 g (120 mmol) 2-Ethylpyrrol langsam zugegeben und danach 18,2 g (180 mmol) Triethylamin ebenfalls langsam zugetropft. Dann wurde die Reaktionsmischung langsam auf Raumtemperatur gebracht und weitere 16 h bei Raumtemperatur gerührt. Danach wurden 6 g (21 mmol) 2,2'-Dihydroxy-1,1'-binaphthyl gelöst in 50 ml Tetrahy-

73

drofuran langsam zugetropft, wobei die Temperatur bis auf 35 °C anstieg. Nach vollendeter Zugabe wurde 16 h bei Raumtemperatur gerührt, ein farbloser Feststoff ($\text{Et}_3\text{N}\cdot\text{HCl}$) abgesaugt und das Filtrat bis zur Trockene eingengt. Der Rückstand wird mit Methanol gewaschen, wobei ein Feststoff zurückbleibt, der im Vakuum getrocknet wird. ^{31}P -NMR (CDCl_3): $\delta = 133$.

Hydroformylierung von 1-Octen

- 10 1,6 mg $\text{Rh}(\text{CO})_2\text{acac}$ und 44,8 mg Ligand D wurden separat eingewogen, in je 1,5 g Palatinol AH® gelöst, vermischt und bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) begast. Nach 30 min. wurde entspannt, dann wurden 3 g 1-Octen zugegeben und 4 h bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) hydroformyliert. Der Umsatz betrug 91 %, die Aldehydselektivität 63 % und die Linearität 91 %. Die Selektivität zu internen Olefinen betrug 37 %.

Hydroformylierung von 1-Octen nach Lagerung des Liganden bei Raumtemperatur

- 20 Nach Lagerung des Liganden bei Raumtemperatur unter Argon für 10 Tage wurde nur eine leichte Farbvertiefung beobachtet.

- 1,6 mg $\text{Rh}(\text{CO})_2\text{acac}$ und 44,8 mg Ligand D (nach 10-tägiger Lagerung unter Argon bei Raumtemperatur) wurden separat eingewogen, in je 1,5 g Palatinol AH® gelöst, vermischt und bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) begast. Nach 30 min. wurde entspannt, dann wurden 3 g 1-Octen zugegeben und 4 h bei 100 °C mit 10 bar Synthesegas ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$) hydroformyliert. Der Umsatz betrug 92 %, die Aldehydselektivität 60 % und die Linearität 89 %. Die Selektivität zu internen Olefinen betrug 40 %.

- Die erfindungsgemäßen Beispiele belegen, dass durch geeignete Substituenten am Pyrrolring eine erhebliche Erhöhung der Ligandstabilität erzielt werden kann.

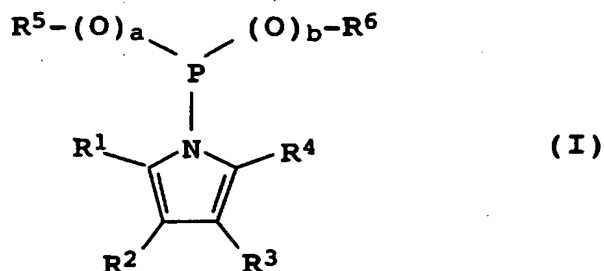
40

45

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von 2-Propylheptanol, bei dem man

- a) Buten oder ein Buten enthaltendes C₄-Kohlenwasserstoffgemisch in Gegenwart eines Hydroformylierungskatalysators mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff unter Erhalt eines n-Valeraldehyd enthaltenden Hydroformylierungsprodukts hydroformyliert, wobei der Hydroformylierungskatalysator wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe mit wenigstens einem Liganden der allgemeinen Formel I



umfasst, worin

R¹, R², R³ und R⁴ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl, Hetaryl, WCOOR^a, WCOO-M⁺, W(SO₃)R^a, W(SO₃)-M⁺, WPO₃(R^a)(R^b), W(PO₃)²⁻(M⁺)₂, WNE¹E², W(NE¹E²E³)⁺X⁻, WOR^a, WSR^a, (CHR^bCH₂O)_xR^a, (CH₂NE¹)_xR^a, (CH₂CH₂NE¹)_xR^a, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Acyl oder Cyano stehen,

worin

W für eine Einfachbindung, ein Heteroatom oder eine zweiwertige verbrückende Gruppe mit 1 bis 20 Brückenatomen steht,

R^a, E¹, E², E³ jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl bedeuten,

R^b für Wasserstoff, Methyl oder Ethyl steht,

M⁺ für ein Kationäquivalent steht,

5 X⁻ für ein Anionäquivalent steht und

x für eine ganze Zahl von 1 bis 240 steht,

10 wobei jeweils zwei benachbarte Reste R¹, R², R³ und R⁴ zusammen mit den Kohlenstoffatomen des Pyrrolrings, an die sie gebunden sind, auch für ein kondensiertes Ringsystem mit 1, 2 oder 3 weiteren Ringen stehen können,

15 mit der Maßgabe, dass wenigstens einer der Reste R¹, R², R³ oder R⁴ nicht für Wasserstoff steht, und dass R⁵ und R⁶ nicht mit einander verknüpft sind,

20 R⁵ und R⁶ unabhängig voneinander für Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, wobei einer der Reste R⁵ oder R⁶ auch für eine zweiwertige verbrückende Gruppe Y stehen kann, die zwei gleiche oder verschiedene Liganden oder Formel I kovalent miteinander verbindet, und

25 a und b unabhängig voneinander die Zahl 0 oder 1 bedeuten,

30 b) gegebenenfalls das Hydroformylierungsprodukt einer Auftrennung unter Erhalt einer an n-Valeraldehyd angereicherten Fraktion unterzieht,

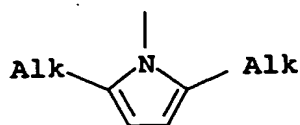
35 c) das in Schritt a) erhaltene Hydroformylierungsprodukt oder die in Schritt b) erhaltene an n-Valeraldehyd angereicherte Fraktion einer Aldolkondensation unterzieht,

d) die Produkte der Aldolkondensation mit Wasserstoff katalytisch zu Alkoholen hydriert, und

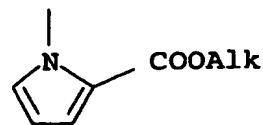
40 e) gegebenenfalls die Hydrierprodukte einer Auftrennung unter Erhalt einer an 2-Propylheptanol angereicherten Fraktion unterzieht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem man wenigstens einen Liganden der Formel I einsetzt, in dem die über das pyrrolische Stickstoffatom an das Phosphoratom gebundene Pyrrolgruppe ausgewählt ist unter Gruppen der Formeln I.a bis I.k

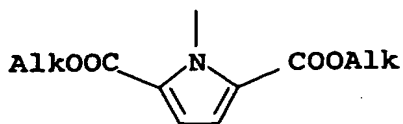
45



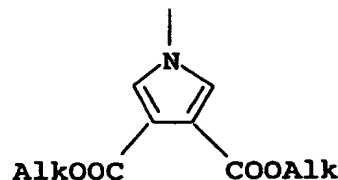
(I.a)



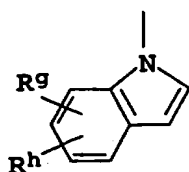
(I.b)



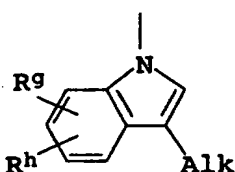
(I.c)



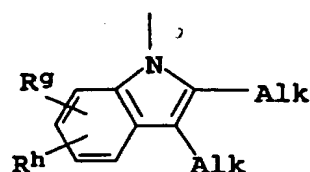
(I.d)



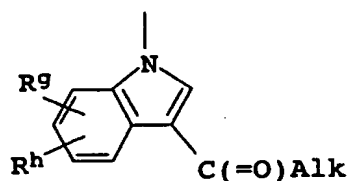
(I.e)



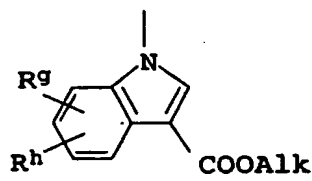
(I.f)



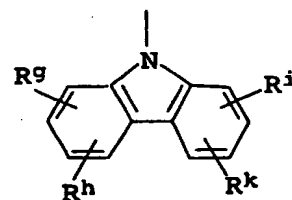
(I.g)



(I.h)



(I.i)



(I.k)

35 worin

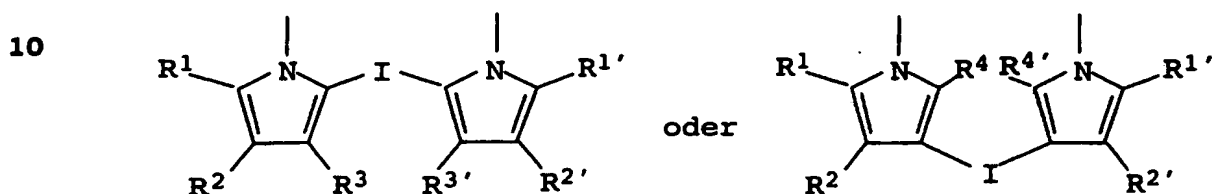
Alk eine C₁-C₄-Alkylgruppe ist und

39 R₉, R_h, Rⁱ und R^k unabhängig voneinander für Wasserstoff,
C₁-C₄-Alkyl, C₁-C₄-Alkoxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl,
C₁-C₄-Alkoxy-carbonyl oder Carboxyl stehen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem man wenigstens einen Li-
ganden der Formel I einsetzt, in dem die über das pyrrolische
Stickstoffatom an das Phosphoratom gebundene Pyrrolgruppe für

eine 3-Alkylindolylgruppe, bevorzugt eine 3-Methylindolylgruppe, steht.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem man wenigstens einen Li-
ganden der Formel I einsetzt, worin die über das pyrrolische
Stickstoffatom an das Phosphoratom gebundene Pyrrolgruppe ge-
meinsam mit R^5 eine Gruppe der Formel



bildet, worin

I für eine chemische Bindung oder für O, S, $SiR^{\alpha}R^{\beta}$, NR^{γ} oder
gegebenenfalls substituiertes C_1 - C_{10} -Alkylen, bevorzugt
 $CR^{\delta}R^{\epsilon}$, steht, worin R^{α} , R^{β} , R^{γ} , R^{δ} und R^{ϵ} unabhängig von-
einander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocyclo-
alkyl, Aryl oder Hetaryl stehen,

R^1 , $R^{1'}$, R^2 , $R^{2'}$, R^3 , $R^{3'}$, R^4 und $R^{4'}$ unabhängig voneinander
für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl,
Aryl, Hetaryl, $WCOOR^a$, $WCOO-M^+$, $W(SO_3)R^a$, $W(SO_3)-M^+$,
 $WPO_3(R^a)(R^b)$, $W(PO_3)^{2-}(M^+)_2$, WNE^1E^2 , $W(NE^1E^2E^3)^+X^-$, WOR^a ,
 WSR^a , $(CHR^bCH_2O)_xR^a$, $(CH_2NE^1)_xR^a$, $(CH_2CH_2NE^1)_xR^a$, Ha-
logen, Trifluormethyl, Nitro, Acyl oder Cyano stehen,

worin

W für eine Einfachbindung, ein Heteroatom oder
eine zweiwertige verbrückende Gruppe mit 1 bis
20 Brückenatomen steht,

R^a , E^1 , E^2 , E^3 jeweils gleiche oder verschiedene Re-
ste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cyclo-
alkyl oder Aryl bedeuten,

R^b für Wasserstoff, Methyl oder Ethyl steht,

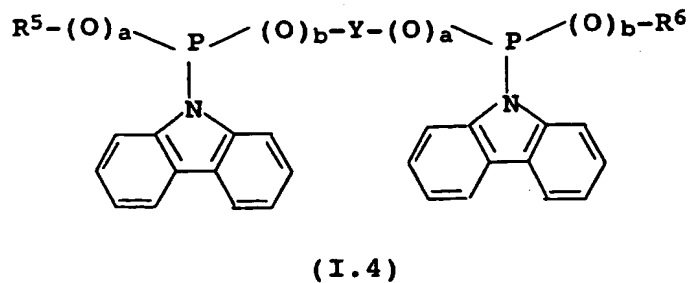
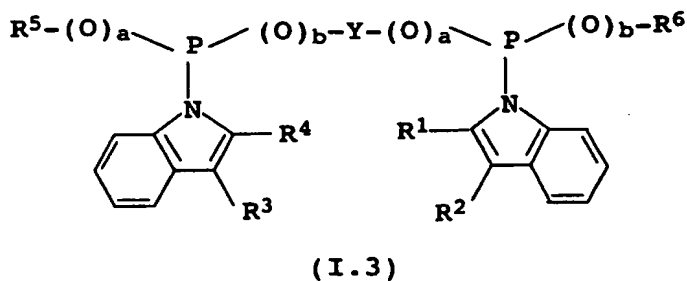
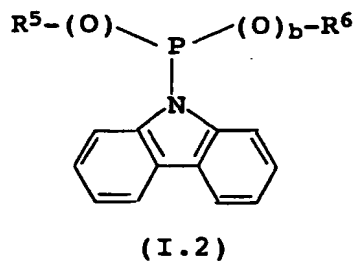
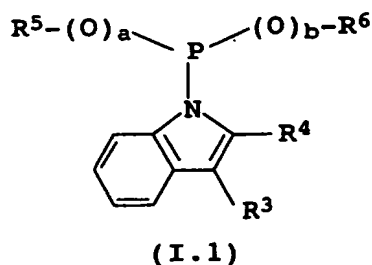
M^+ für ein Kationäquivalent steht,

X^- für ein Anionäquivalent steht und

x für eine ganze Zahl von 1 bis 240 steht,

wobei jeweils zwei benachbarte Reste R^1 und R^2 und/oder $R^{1'}$ und $R^{2'}$ zusammen mit den Kohlenstoffatomen des Pyrrolrings, an die sie gebunden sind, auch für ein kondensiertes Ringsystem mit 1, 2 oder 3 weiteren Ringen stehen können.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Verbindung der Formel I ausgewählt ist unter Verbindungen der allgemeinen Formeln I.1 bis I.4



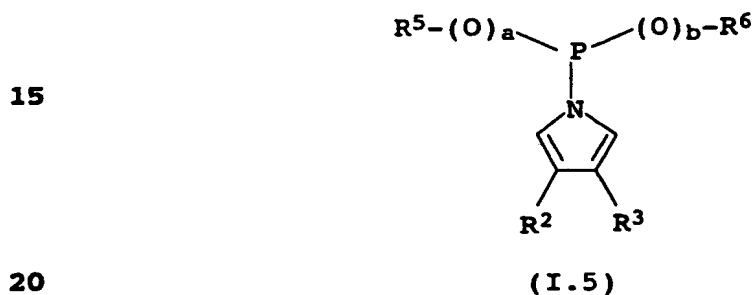
worin

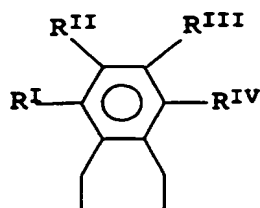
R^1, R^2, R^3, R^4, Y, a und b die in Anspruch 1 angegebenen Bedeutungen besitzen und

5

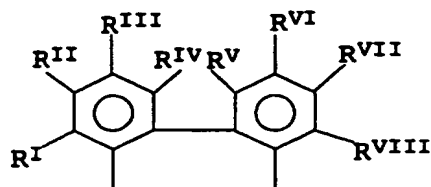
R⁵ und R⁶ unabhängig voneinander für Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Verbindung der allgemeinen Formel I ausgewählt ist unter Verbindungen der allgemeinen Formeln I.5 und I.6

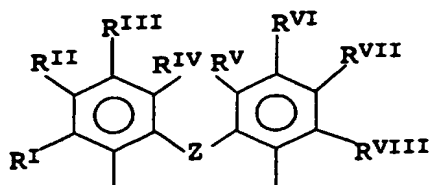




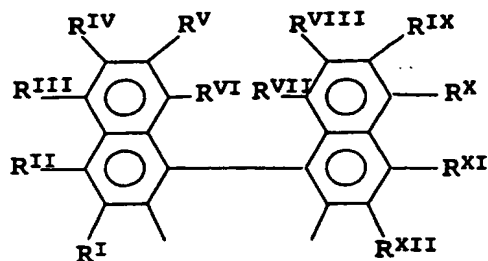
(II.a)



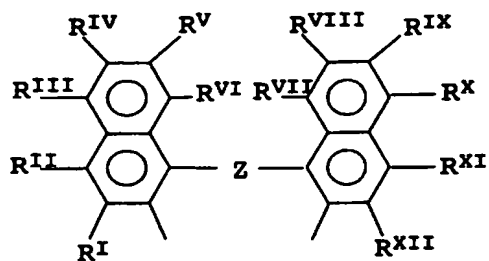
(II.b)



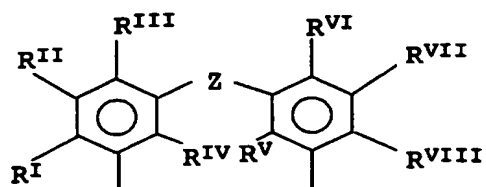
(II.c)



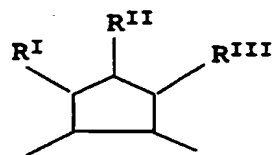
(II.d)



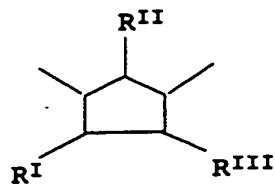
(II.e)



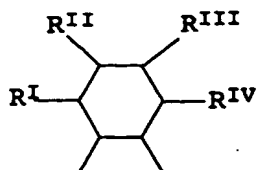
(II.f)



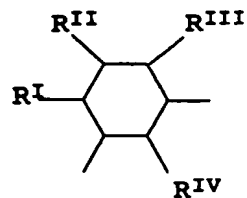
(II.g)



(II.h)



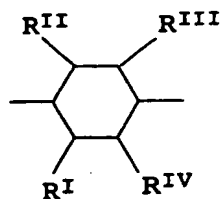
(II.i)



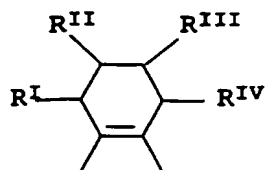
(II.k)

81

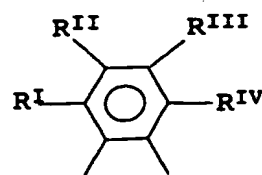
5



(II.l)

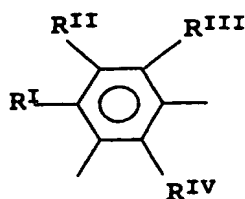


(II.m)



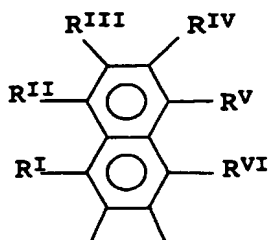
(II.n)

10

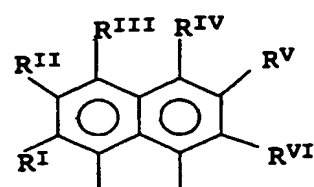


(II.o)

15

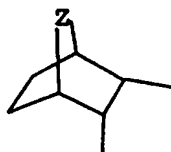


(II.p)

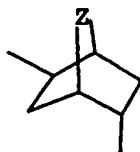


(II.q)

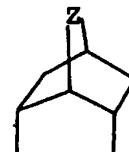
20



(II.r)



(II.s)



(II.t)

25

worin

30

R^I bis R^{XII} unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, SO_3H , Sulfonat, NE^4E^5 , Alkylen- NE^4E^5 , Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl, Carboxyl oder Cyano stehen, worin E^4 und E^5 jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl und Aryl bedeuten,

35

Z für O, S, NR^{15} oder $SiR^{15}R^{16}$ steht, wobei R^{15} und R^{16} unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen,

40

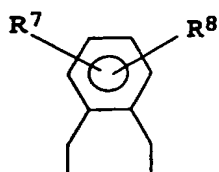
oder Z für eine C_1 - bis C_4 -Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl-, Heterocycloalkyl-, Aryl- oder Hetaryl-Substituenten aufweisen kann,

45

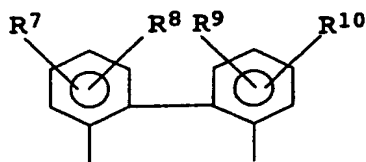
oder Z für eine C_2 - bis C_4 -Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR^{15} oder $SiR^{15}R^{16}$ unterbrochen ist,

wobei in den Gruppen der Formeln II.g bis II.m einer der Reste R^I bis R^{IV} auch für Oxo oder ein Ketal davon stehen kann.

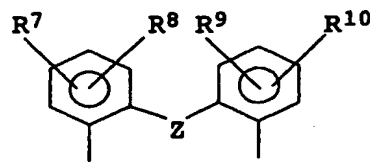
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der Formel I die verbrückende Gruppe Y ausgewählt ist unter Gruppen der Formeln II.1 bis II.5



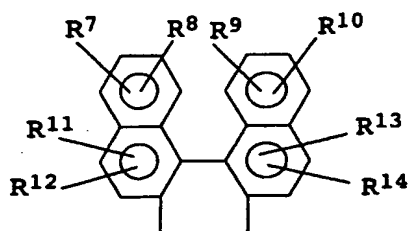
(II.1)



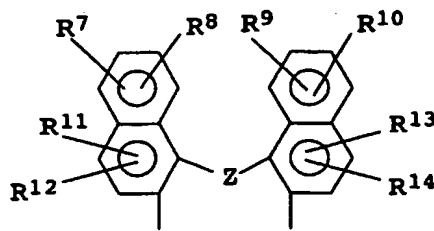
(II.2)



(II.3)



(II.4)



(II.5)

worin

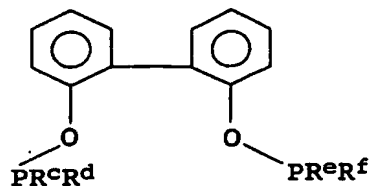
R^7 , R^8 , R^9 , R^{10} , R^{11} , R^{12} , R^{13} und R^{14} unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, SO_3H , Sulfonat, NE^4E^5 , Alkylen- NE^4E^5 , Trifluormethyl, Nitro, Alkoxy-carbonyl, Carboxyl oder Cyano stehen, worin E^4 und E^5 jeweils gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt unter Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl und Aryl bedeuten,

Z für O, S, NR^{15} oder $SiR^{15}R^{16}$ steht, wobei R^{15} und R^{16} unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Heterocycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen,

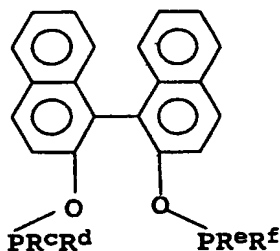
oder Z für eine C_1 - bis C_3 -Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl-, Heterocycloalkyl-, Aryl- oder Hetaryl-Substituenten aufweisen kann,

oder Z für eine C_2 - bis C_3 -Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR^{15} oder $SiR^{15}R^{16}$ unterbrochen ist.

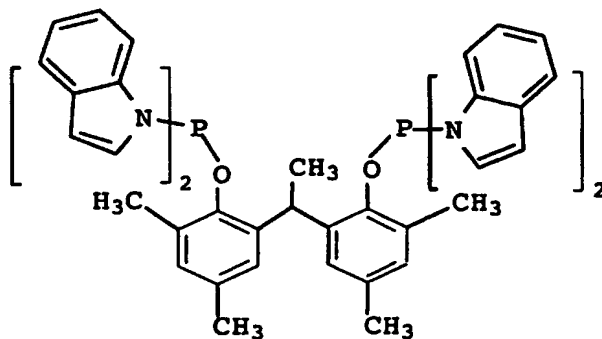
9. Katalysatoren, umfassend Komplexe mit einem Metall der VIII. Nebengruppe des Periodensystems der Elemente, die als Liganden mindestens eine Verbindung der Formel I gemäß Anspruch 1 enthalten, ausgenommen Verbindungen der Formeln



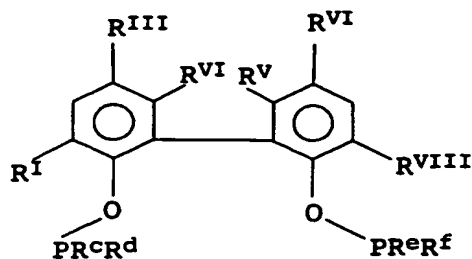
- a: $R^c, R^d, R^e, R^f = (1\text{-Indolyl})$
 b: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (O\text{-Phenyl})$
 c: $R^c, R^d, R^e, R^f = (1\text{-Carbazolyl})$
 d: $R^c, R^d, R^e, R^f = (3,4,5,6\text{-Tetrahydrocarbazol-1-yl})$
 e: $R^c, R^d, R^e, R^f = (Isoindol-1-yl);$



- a: $R^c, R^d, R^e, R^f = (1\text{-Indolyl})$
 b: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = \text{Phenyl}$
 c: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (1\text{-Pyrrolyl})$
 d: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (O\text{-}(2\text{-Isopropyl-5-methyl-phenyl}))$
 e: $R^c, R^e = (1\text{-Indolyl}); R^d, R^f = (O\text{-Phenyl})$
 f: $R^c, R^e = (1\text{-Carbazolyl}); R^d, R^f = (O\text{-Phenyl});$



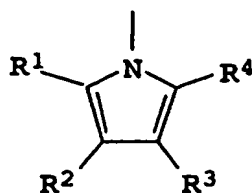
84



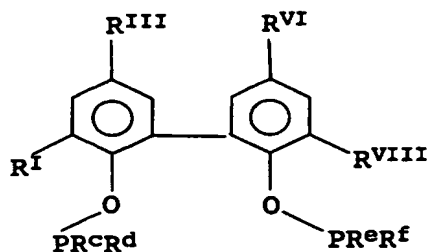
worin

R^I, R^{III}, R^{IV}, R^V, R^{VI} und R^{VIII} für von Wasserstoff verschiedene Substituenten stehen und

R^c, R^d, R^e und R^f für Gruppen der Formel



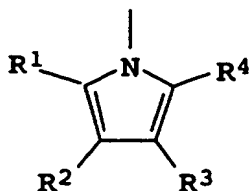
stehen, worin R¹, R², R³ und R⁴ die in Anspruch 1 angegebenen Bedeutungen besitzen;



worin

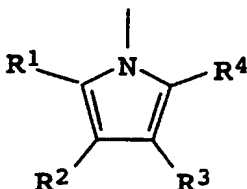
R^I, R^{III}, R^{VI} und R^{VIII} für von Wasserstoff verschiedene Substituenten stehen und

R^c, R^d, R^e und R^f für Gruppen der Formel



stehen, worin R^1 , R^2 , R^3 und R^4 die in Anspruch 1 angegebenen Bedeutungen besitzen.

10. Katalysatoren, umfassend Komplexe mit einem Metall der VIII. Nebengruppe des Periodensystems, die als Liganden mindestens eine Verbindung der Formel I, wie in einem der Ansprüche 1 bis 8 definiert, aufweisen, in denen wenigstens eine der Gruppen der Formel



für 3-Alkylindol-1-yl, insbesondere für 3-Methylindol-1-yl, steht.

11. Katalysatoren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, in denen das Metall ausgewählt ist aus Kobalt, Rhodium, Ruthenium oder Iridium.
12. Verfahren zur Hydroformylierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten durch Umsetzung mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Gegenwart eines Hydroformylierungskatalysators, umfassend wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe mit wenigstens einem Liganden der allgemeinen Formel I, wie in einem der Ansprüche 1 bis 8 definiert.
13. Verfahren zur Hydroformylierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten durch Umsetzung mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Gegenwart eines Katalysators, wie in einem der Ansprüche 9 bis 11 definiert.
14. Verwendung eines Katalysators, wie in einem der Ansprüche 9 bis 11 definiert, zur Hydroformylierung, Carbonylierung, Hydrocyanierung oder Hydrierung.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **KEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)